

ЛЕКЦИИ 5

Тема. МОДЕЛИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ. МОДЕЛИРОВАНИЕ. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОЗНАНИЯ

В настоящее время компьютерное моделирование в научных и практических сферах является одним из основных инструментов исследования различных систем, процессов и явлений окружающего нас мира. Но моделирование в научных исследованиях стало применяться очень давно и постепенно захватывало все новые области научных знаний: строительство и архитектуру, техническое конструирование, физику, астрономию, химию, биологию и, наконец, общественные науки. Но значительные успехи и признание практически во всех отраслях науки принес моделированию XX век в связи с появлением парка компьютеров, именно во второй половине XX века утвердилась роль моделирования как универсального метода научного познания.

В лекции, в основном, рассматриваются вопросы компьютерного математического моделирования и строятся математические и компьютерные модели чисто прикладных задач из различных областей человеческой деятельности.

При моделировании физических процессов, нужны знания законов физики, при моделировании экологических процессов - знания законов биологии, при моделировании экономических процессов – знание законов экономики. Во-вторых, компьютерное математическое моделирование использует разделы современной математики: теорию дифференциальных уравнений, аналитическую геометрию, математическую статистику, численные методы. Таким образом, изучение компьютерного математического моделирования позволяет соискателем осознать связи информационных технологий с естественными науками, прежде всего, с математикой и физикой.

Сама технология компьютерного моделирования требует от исследователя умения корректно ставить задачи, ранжировать входные параметры при построении модели, прогнозировать результаты исследования, проводить компьютерные эксперименты и анализ их результатов.

1. Понятие модели

Слово «модель» произошло от латинского слова «modulus», что в переводе означает «образец», это понятие используется в различных сферах человеческой деятельности и имеет множество смысловых значений. Его первоначальное значение было связано со строительным искусством и во всех европейских языках оно употреблялось для обозначения прообраза, или объекта, сходного в каком-то отношении с другим объектом.

Термин «модель» стал востребован в XX веке в связи с появлением компьютеров, хотя сами модели используются человечеством с незапамятных времен. Именно с помощью моделей развивались языки общения людей, их письменность, графика. Наскальные изображения древних людей, статуэтки, карты, картины, книги – все это модельные формы представления и передачи знаний об окружающем мире последующим поколениям людей (Рис.1).



Рис. 1 - Древние модели - наскальные рисунки

Но наряду с этими материальными, часто называемыми натурными, моделями люди всегда отражали в своем мышлении объекты реальности в виде моделей - мысленных образов. Это первый этап отражения мира в мышлении человека. С появлением компьютера ситуация радикально изменилась. Люди уже могли передавать компьютеру свои знания, создав компьютерную модель реального объекта или процесса. Происходит второе отражение мира, теперь уже из мышления человека в компьютер. В этом смысле компьютерный мир является третьей реальностью, схематично это можно отобразить так (Рис.2):

I этап Материя (живая и неживая)



II этап Мышление человека



III этап Неживая материя (компьютер)

Рис. 2 – Схема отображения мира

С моделями люди сталкиваются повсеместно, начиная с раннего детства. Плюшевый тигренок, кукла, заводная машинка, игрушечный робот – это модели реальных объектов, с помощью которых дети познают мир.

Рассмотрим другие примеры. Прежде чем построить Золотой мост через пролив Золотой Рог во Владивостоке сначала построили его макет и выставили в кампусе Дальневосточного Федерального университета (ДВФУ) на острове Русский



(Рис.3). Макет – это модель моста.

Рис. 3 - Модель Золотого моста

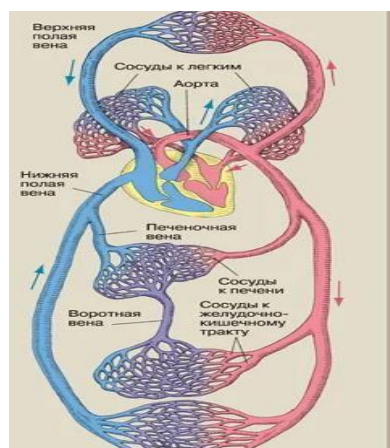


Рис. 4 - Модель кровообращения

Для иллюстрации системы кровообращения человека учителя часто используют плакат со схемой (Рис.4). **Схема на плакате – это модель системы кровообращения человека.**



Рис. 5 – Самолет в аэродинамической трубе

Прежде чем запустить самолет новой конструкции в серийное производство, его помещают в аэродинамическую трубу, в которой создаются условия, соответствующие полету в воздухе. **Самолет в аэродинамической трубе – это модель летящего в воздухе самолета** (Рис.5).

Для того, чтобы рассчитать путь, пройденный телом, движущимся с начальной скоростью V и ускорением a за время t , пользуются уравнением:

$$S = \overline{Vt} + at^2 \quad (1)$$

Уравнение (1) – модель равноускоренного движения тела.

Во всех рассмотренных случаях некоторый объект, система или процесс **сопоставляются** с другим объектом, его заменяющим, а именно:

- Реальный мост – с макетом из картона;
- Система кровообращения – со схемой на плакате;
- Летящий самолет – с самолетом в аэродинамической трубе;
- Процесс движения тела – с уравнением.

Причем, во всех случаях **одно или несколько свойств сохраняются при переходе от реального объекта к его модели:**

- Макет меньше моста, но сохраняет его форму и пропорции;
- Схема на плакате, на первый взгляд, не имеет ничего общего с системой кровообращения человека, но позволяет судить, откуда и куда течет венозная и артериальная кровь в теле человека;
- Самолет в аэродинамической трубе не летит, но испытывает такие же физические нагрузки, что и летящий самолет;
- Уравнение (1) тоже визуально не имеет ничего общего с процессом движения тела, но позволяет определить путь, пройденный телом в любой момент времени.

Информатика – наука относительно молодая по отношению к математике или физике, поэтому многие понятия, методы, алгоритмы в ней находятся в процессе становления, и авторы учебников, учебных пособий и статей многие понятия информатики определяют по-разному, в частности, определение модели не однозначно, имеются, например, такие определения:

Модель - искусственно созданный объект, который воспроизводит в определенном виде реальный объект - оригинал.

Модель – это физический или информационный аналог объекта, функционирование которого по определенным параметрам подобно функционированию реального объекта.

Модель – это новый объект, который отражает некоторые стороны изучаемого объекта, процесса или явления, существенные с точки зрения целей моделирования.

Модель – это объект заместитель объекта оригинала, часто существующий в

форме, отличной от формы существования оригинала, но сохраняющий некоторые его свойства.

Все эти определения имеют место в информатике и являются, по своей сути, равнозначными. В них можно выделить общие моменты, во-первых, модель – это **самостоятельный объект - заместитель, аналог оригинала**, во-вторых, модель **обладает некоторыми свойствами оригинала**.

Из сказанного выше следует, что моделей без оригиналов не существует. Оригиналами моделей могут быть:

- **Объекты** (ракета, человек, атом, лицо, галактика, планета, животное, здание, космическое тело).
- **Процессы** (изменение климата, война, спад экономики, инфляция, эпидемия, переговоры, судебный процесс).
- **Явления** природы (землетрясение, цунами, северное сияние, снегопад, град, извержение вулкана, молния, гроза).

Все эти рассуждения приводят к вопросу: **«Для чего нужны модели?»** Чтобы ответить на него вернемся к уже рассмотренным моделям.

Конечно, пользуясь чертежами (это тоже модели), можно построить мост и без макета. Но, он может по каким-то параметрам не устраивать заказчика и его пришлось бы перестраивать. Поэтому, **целесообразнее с точки зрения здравого смысла, сначала построить макет и изменять в случае необходимости именно его, а не переделывать уже построенный**.

Учитель для демонстрации тока крови может использовать подробный анатомический атлас или вообще живого человека, но, обилие ненужных подробностей в атласе или на живом человеке будет отвлекать учеников от главного – направления движения тока венозной и артериальной крови. В данном случае, **использование модели - плаката делает объяснение темы более наглядным, чем показ тока крови на живом человеке или атласе**.

Самолет новой конструкции тоже можно сразу запустить в полет, но, если в нем есть недоделки, он может потерпеть аварию, а в аэродинамической трубе при первых признаках аварийной ситуации силовые установки, создающие реальные условия полета, можно просто выключить. Значит, **модель самолетов аэродинамической трубы нужна для проведения серии более безопасных и дешевых испытаний**.

Для того, чтобы узнать путь, пройденный телом за время t , можно всякий раз делать замеры времени, скорости и расстояния, но это довольно трудоемкий процесс, причем измерения не будут отличаться высокой точностью, поэтому **быстрее и точнее использовать для таких расчетов модель – уравнение**.

Во всех этих случаях использование моделей для получения информации о самом оригинале позволяет экономить средства или время, или получить более точную и качественную информацию.

Таким образом, **модели нужны, чтобы получить информацию о строении, свойствах, поведении или функционировании объекта – оригинала**.

Тогда возникает другой вопрос **«Почему эту информацию нельзя получить от самого оригинала?»**

Частично, на этот вопрос отвечают рассмотренные выше примеры моделей, но причины могут быть и другими.

1. Оригинал не существует в настоящее время (питекантропы, динозавры, древний Рим, древний Египет) или вообще не существовал (инопланетяне, живой океан - Солярис, кентавр, морские sireны).

2. Исследование оригинала дорого или опасно (ядерные испытания, черные дыры, влияние невесомости на здоровье человека, воздействие холода на человеческий организм, исследование недр Земли, измерение температуры ядра Земли – невозможность добраться).

3. Исследование оригинала очень сложно (Галактика – очень большие размеры, ядро атома – очень малые размеры, реактивное движение – очень быстрый процесс, рост коралла – очень медленный процесс).

4. Исследование только отдельных свойств оригинала (предельная грузоподъемность моста, предельно допустимая скорость автомобиля, температура плавления пластика).

Фундаментальное свойство моделей

В основе моделирования лежит теория подобия, утверждающая, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене объекта другим точно таким же. При построении модели абсолютное подобие не нужно, но, требуется, чтобы модель достаточно хорошо отображала свойства оригинала, важные для решаемой задачи.

Построение модели всегда связано с какой-либо задачей, решаемой человеком. Только задача позволяет ограничить множество свойств реального объекта, процесса или явления при построении его модели.

Например, пусть поставлена задача:

Определить долю городских и сельских студентов на 1 курсе профиля «Математика и информатика» в педагогическом вузе.

Для решения этой задачи можно построить таблицу с четырьмя столбцами (Таблица № 1), содержащими порядковый номер, фамилию студента, место его проживания до поступления в институт и пометку – город (Г), село (С) или деревня (Д). Из этой таблицы выбираются данные для вычисления доли городских и сельских студентов. Эта таблица – модель такого объекта, как множества студентов 1 курса. Из всех свойств объекта выбраны только те, которые важны для поставленной задачи, а именно: количество студентов, их фамилии и место проживания, все остальные свойства, такие как, год рождения, успеваемость, посещаемость, не учитывались, так как для решения поставленной задачи они не нужны.

Фундаментальное свойство моделей

В основе моделирования лежит теория подобия, утверждающая, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене объекта другим точно таким же. При построении модели абсолютное подобие не нужно, но, требуется, чтобы модель достаточно хорошо отображала свойства оригинала, важные для решаемой задачи.

Построение модели всегда связано с какой-либо задачей, решаемой человеком. Только задача позволяет ограничить множество свойств реального объекта, процесса или явления при построении его модели.

Например, пусть поставлена задача:

Определить долю городских и сельских студентов на 1 курсе профиля «Математика и информатика» в педагогическом вузе.

Для решения этой задачи можно построить таблицу с четырьмя столбцами (Таблица № 1), содержащими порядковый номер, фамилию студента, место его проживания до поступления в институт и пометку – город (Г), село (С) или деревня (Д). Из этой таблицы выбираются данные для вычисления доли городских и сельских студентов. Эта таблица – **модель такого объекта, как множества студентов 1 курса**. Из всех свойств объекта выбраны только те, которые важны для поставленной задачи, а именно: количество студентов, их фамилии и место проживания, все остальные свойства, такие как, год рождения, успеваемость, посещаемость, не учитывались, так как для решения поставленной задачи они не нужны.

Пусть поставлена другая задача:

Определить долю студентов профиля «Математика и информатика» 1 курса, успешно сдавших зимнюю сессию.

Для решения этой задачи тоже можно построить **таблицу-модель** из пяти-семи столбцов (в зависимости от числа предметов), содержащих порядковый номер,

фамилию студента, название предметов, по которым сдавались экзамены, полученные оценки и пометки – успевает (У), не успевает (Н) (Таблица №2). Из этой таблицы выбираются данные для обработки. Из всех свойств того же объекта – множества студентов 1 курса, выделены уже другие свойства, которые важны для этой задачи. Исходя даже из этих примеров, можно сделать вывод.

Таблица №2

№	ФИО студента	Математика	Информатика	Физика	У/Н
1	Андреев Иван Васильевич	5	4	4	У
2	Бабин Андрей Петрович	3	3	4	У
3	Варгин Павел Ильич	4	5	4	У
....	...				
25	Янина Софья Андреевна	2	3	3	Н

Для каждого объекта – оригинала можно построить множество моделей, связанных с решением различных задач.

Например, представления о некоторой фирме (мысленные модели), существующие у ее директора, главного технолога, бухгалтера довольно различны, так как, каждое из этих должностных лиц, решая конкретные задачи в работе фирмы, встраивают в свою мысленную модель различную информацию о ней. Ближе к оригиналу будет мысленная модель директора, так как он владеет информацией в целом.

Из сказанного следует вывод: так как при создании модели отбрасываются свойства, не важные для решаемой задачи, **то модель всегда беднее оригинала. Это ее фундаментальное свойство.**

Классификация моделей

Классификация объектов, систем, явлений в науке это всегда процесс трудоемкий и зачастую спорный, так как классификацию можно проводить по разным признакам и критериям. Это относится ко всем наукам, но особенно к таким молодым, как информатика.

Моделей имеется великое множество и естественно, что для их классификации можно использовать разные признаки. Рассмотрим некоторые из принятых в информатике классификаций моделей.

Классификация моделей по форме существования (или по сущности)

Схема классификации моделей по сущности приведена ниже на Рис.6 ниже.

1. К материальным (или натурным) относятся модели, воспроизводящие основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого объекта или явления. Это модели реального мира, их можно услышать, увидеть, осязать. Они подчиняются физическим законам мира, в котором мы живем. Основными видами материальных моделей являются геометрические и физические, некоторые авторы добавляют к ним еще аналоговые модели.

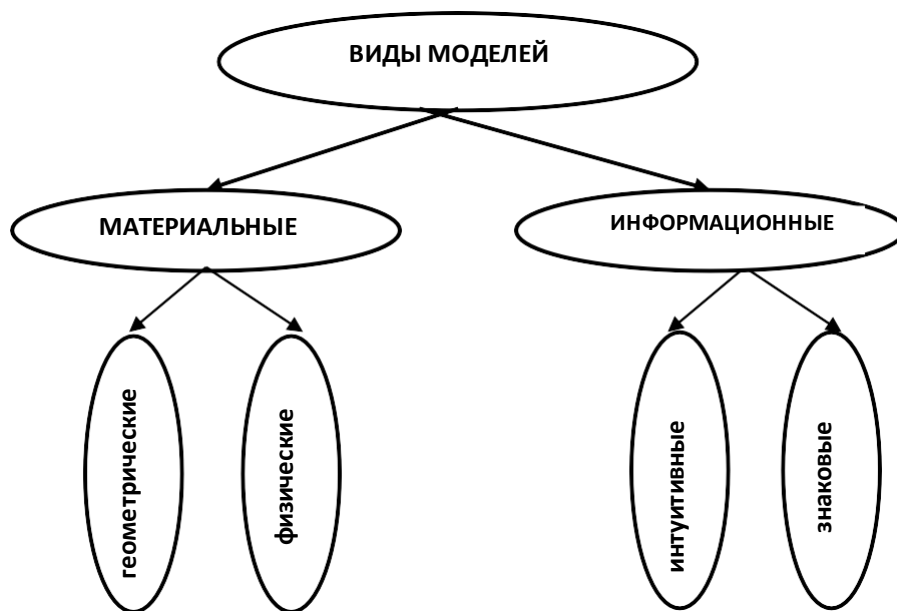


Рис. 6 - Схема классификации моделей по сущности

- **Модель называется геометрической**, если она геометрически подобна своему оригиналу, то есть, сохраняет его форму и пропорции.

Как правило, геометрические модели обычно являются уменьшенной или увеличенной копией оригинала и используются для демонстрационных целей. Так как они часто выполняются в масштабе, отличном от масштаба самого оригинала, геометрические модели еще называют **масштабными**. Громоздкие объекты (корабли, ракеты, здания – Рис.7) представляются в таких моделях в уменьшенном виде, а мелкие объекты (молекулы, микросхемы, атомы – Рис.8) – представляются в увеличенном виде. В ряде случаев геометрическая модель имеет тот же масштаб, что и объект – оригинал (копия картины, скульптуры, выкройка платья). Кроме того, встречаются геометрические модели, имеющие меньшую «мерность», чем оригинал. Например, географическая карта – двумерная модель трехмерного пространства.

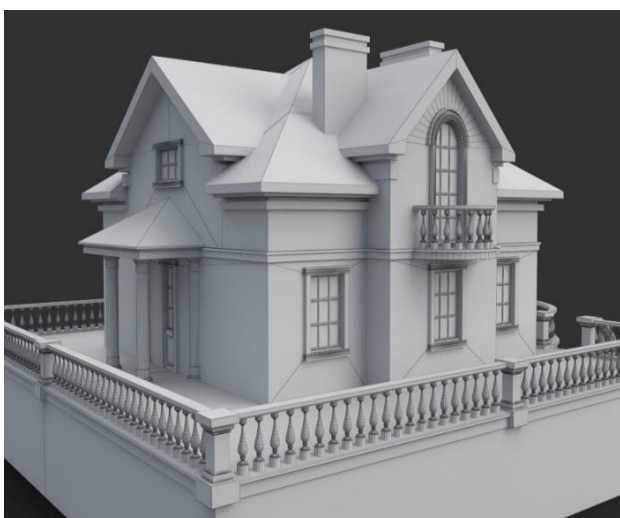


Рис.7 - Модель здания

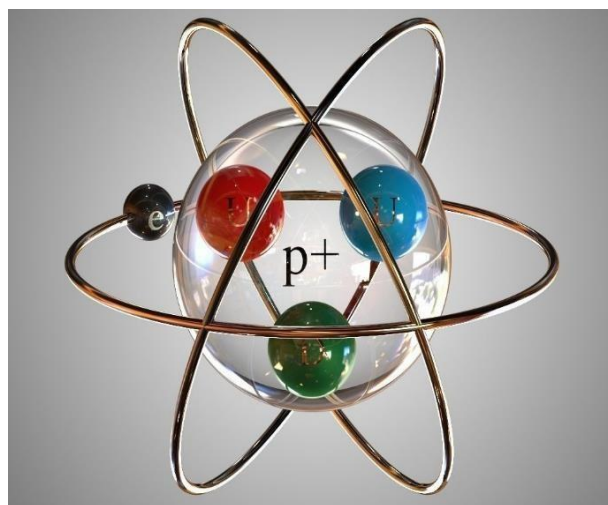


Рис.8 - Модель атома

- **Модель называется физической**, если она подобна своему оригиналу не только с точки зрения геометрических соотношений, но и с точки зрения

происходящих в ней физических процессов. При этом и модель, и оригинал **всегда** имеют одинаковую физическую структуру.

Например, самолет в аэродинамической действующей трубе – физическая модель летящего самолета, аквариум с морскими водорослями и рыбками – физическая модель морской экологической системы.



Рис.9 - Модель летящего самолета



Рис.10 - Модель экосистемы

К информационным (или идеальным, или абстрактным) относятся модели, имеющие абстрактную, то есть мыслимую аналогию с объектом – оригиналом, они не имеют материального воплощения, потому что строятся только на информации. К ним относятся вербальные и знаковые модели.

- **Модель называется вербальной (или интуитивной)**, если она представима в мыслимой или разговорной форме, оригинал такой модели либо не нуждается в формализации, либо не поддается ей. Такая модель получается в результате раздумий и умозаключений человека (Рис.11 и 12).



Рис.11 - Мыслимая модель



Рис.12 - Модель-умозаключение

Например, *жизненный опыт каждого человека – это его вербальная модель мира*. Прежде чем написать сочинение, статью, эссе, автор в уме составляет вербальную модель этого труда. Каждый человек содержит в памяти мысленные образы знакомых людей, прочитанных книг, просмотренных кинофильмов - эти образы и есть вербальные модели людей, книг, кинофильмов, хотя сами книги и кинофильмы являются знаковыми моделями.

- **Модель называется знаковой**, если выражает основные свойства и отношения реального объекта или процесса с помощью определенной системы знаков

и символов, то есть, средствами любого формального языка (литературного, алгоритмического, математического, программирования).

Все знаковые модели являются символическими, это искусственные логические объекты, которые замещают реальные. Это могут быть списки, схемы, чертежи, графики, математические формулы и т.д. (Рис.13). Например, плакат со схемой кровообращения –это знаковая модель системы кровообращения человека, знаками являются кривые и символы органов, из которых составлена схема на плакате. Уравнение (1) – это знаковая модель полета тела, она составлена из знаков – латинских букв и математических символов.

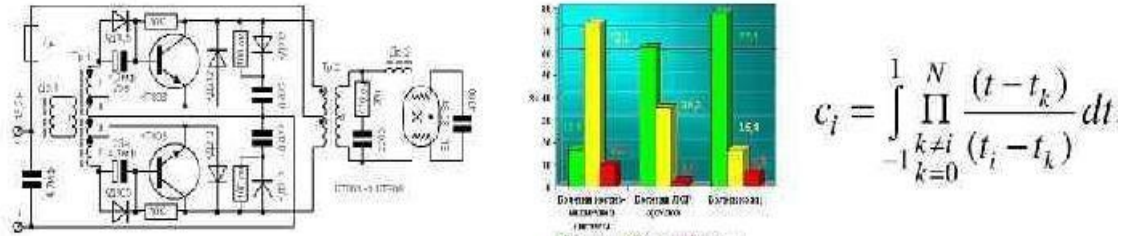


Рис.13 - Знаковые модели (схема, диаграмма, формула)

Вербальные и знаковые модели, как правило, взаимосвязаны. Мысленный образ, родившийся в мозгу человека, может быть облечен в знаковую форму, и наоборот, знаковая модель помогает сформировать в сознании верный мысленный образ.

I. Классификация моделей по фактору времени

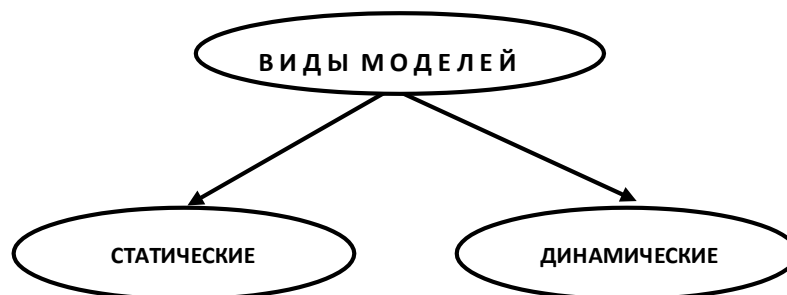


Рис.14 - Схема классификации моделей по временному фактору

Модель называется статической, если она отображает лишь структуру объекта –оригинала или описывает состояние объекта в фиксированный момент времени и не позволяет проследить его развитие во времени.

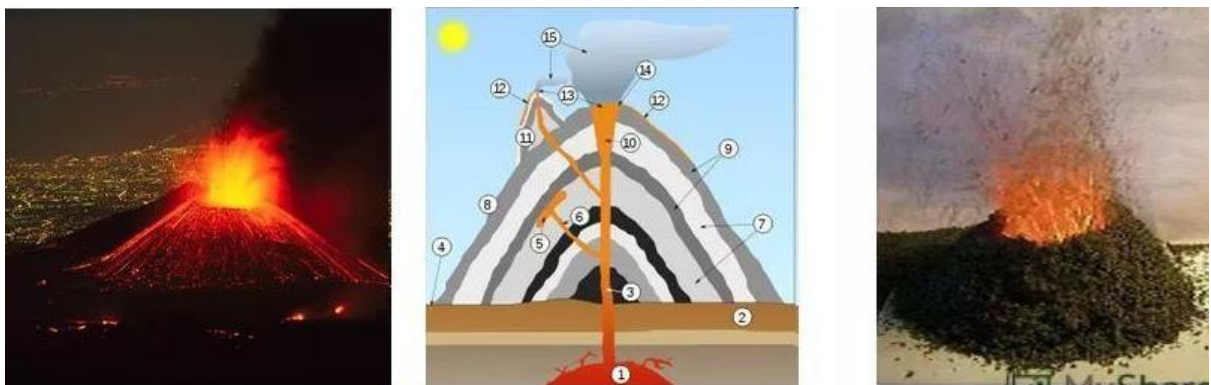


Рис.15 - Статические модели извержения вулкана

Образно говоря, статическая модель представляет собой как бы «срез» существенных свойств объекта-оригинала в некоторый момент времени. Примеры статических моделей: макет моста, скелет в кабинете биологии, карта местности, схема персонального компьютера, перечень планет Солнечной системы, фотография, схема, рисунок извержения вулкана (Рис.15).

Модель называется динамической, если она позволяет увидеть или прогнозировать поведение, или функционирование оригинала во времени.

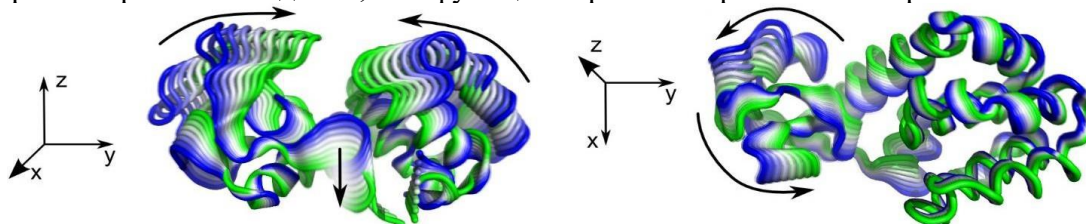


Рис.16 - Динамическая модель изменения цепочки ДНК

Динамические модели содержат информацию, как о поведении самого объекта- оригинала, так и его составных частей. Модели представимы в виде формул, схем соотношений, позволяющих вычислить параметры объекта и его частей как функции времени. Примеры динамических моделей: набор формул небесной механики, описывающий движение планет Солнечной системы; график изменения температуры в течение суток; видеозапись извержения вулкана, уравнение (1), развёртывание цепочки ДНК (Рис.16), процесс развития зародыша в фотографиях.

В зависимости от цели моделирования для одного и того же объекта могут создаваться как статические, так и динамические модели. Построение динамических моделей обычно сложнее, чем статических, поэтому, если значения свойств объекта изменяются редко или медленно, то лучше построить статическую модель системы и при необходимости вносить в нее коррективы.

II. Классификация моделей по характеру изучаемых процессов

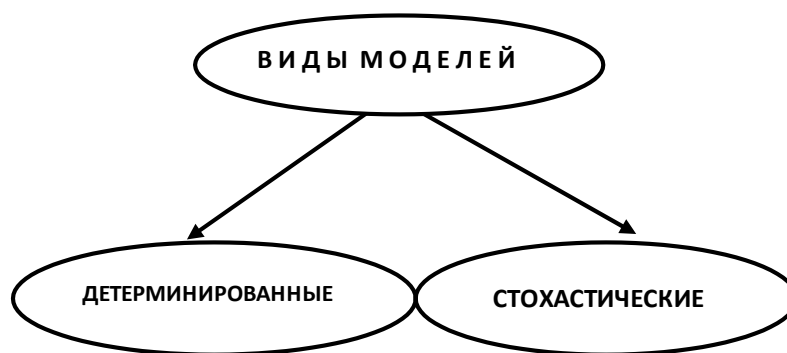


Рис.17 - Схема классификации моделей по характеру процесса

Модель называется детерминированной, если она отображает процесс, в котором предполагается отсутствие случайных факторов.

Модель называется стохастической, если она отображает процесс, в котором имеются случайные факторы с заданным вероятностным распределением.

На рисунках 18 и 19 приведены примеры детерминированной и стохастической моделей проницаемости почвы, уравнение (1) – детерминированная

моделью процесса равноускоренного движения, модель броуновского движения частиц – стохастическая модель.

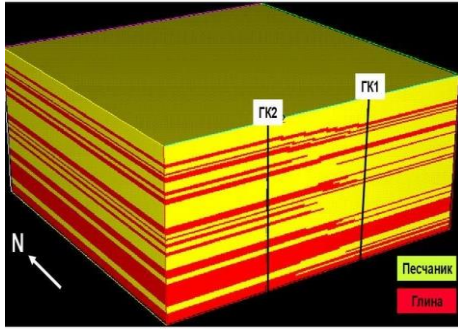


Рис.18 - Детерминированная модель

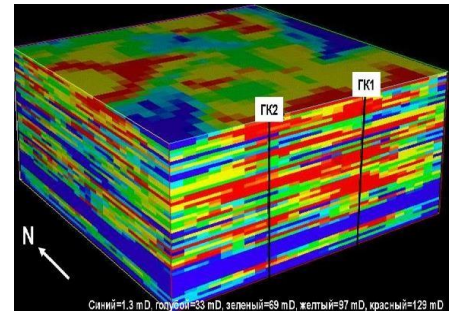


Рис.19 -

Стохастическая модель

проницаемости почвы

III. Классификация моделей по отдельной характеристике объекта

Схема классификации моделей по этому признаку приведена на Рис.20. В этой классификации используется одна из характеристик объекта моделирования, которая и выносится в название вида модели.

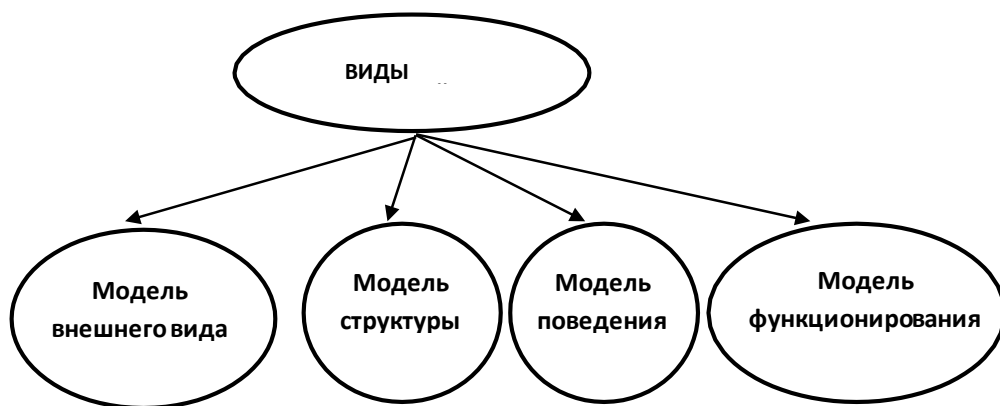


Рис. 20 - Схема классификации моделей по отдельной характеристике

В этой классификации название характеристики определяет вид модели.

Рассмотрим, как одну и ту же модель можно классифицировать по четырем различным признакам, рассмотренным выше.

1. **Макет моста** является по классификации:

- I - материальной геометрической моделью;
- II – статической моделью;
- III – не классифицируется, так как не является процессом;
- IV - моделью внешнего вида.

2. **Схема кровообращения** является по классификации:

- I - информационной знаковой моделью;
- II – статической моделью;
- III – детерминированной моделью;
- IV – моделью структуры.

Знаковые модели

Рассмотрим более подробно знаковые модели. Это наиболее востребованный класс информационных моделей, их в свою очередь тоже можно классифицировать по различным признакам.

1. Классификация по используемым формальным языкам

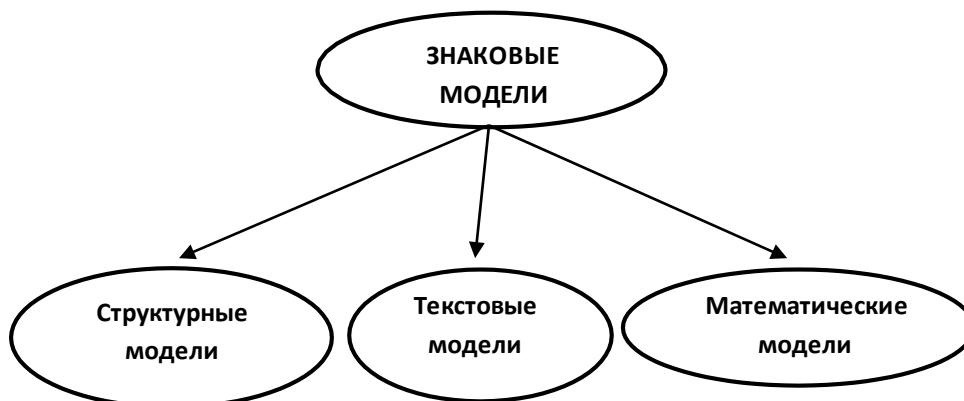


Рис. 21 - Схема классификации знаковых моделей по языкам

Структурными называются модели, в которых информации об объекте оригинале представлена в виде схем, чертежей, графиков, таблиц, часто снабженных поясняющими записями.



Рис.22 - Структурная схема языка системы



Рис.23 - Структурная схема

Текстовыми (словесными, вербальными) называются модели, использующие предложения естественного языка для описания объектов, событий, ситуаций, предметных областей с целью их осмысления, анализа и использования опыта (Рис.24 и25).

- ТОЧНОСТЬ
- ЛОГИЧНОСТЬ
- СТРЕМЛЕНИЕ К СТАНДАРТУ
- ОТСУТСТВИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ЛИЧНЫХ, СУБЪЕКТИВНЫХ ЧУВСТВ И ОТНОШЕНИЙ
- ОТСУТСТВИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНО-ОКРАШЕННЫХ ЯЗЫКОВЫХ СРЕДСТВ
- ОТСУТСТВИЕ ОБРАЗНЫХ РИТОРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ПРИЕМОВ
- СПЕЦИФИЧЕСКАЯ ЛЕКСИКА И ФРАЗЕОЛОГИЯ

Рис.24 - Словесная модель делового стиля письма

1. Уровень правильности, критикуемый в быту по формуле "Он русского языка (еще) не знает".
2. Уровень интериоризации, критикуемый в быту по формуле "Он еще говорить как следует не научился".
3. Уровень насыщенности, критикуемый в быту по формуле "У него бедная речь".
4. Уровень адекватного выбора, критикуемый в быту по формуле "Он не те слова говорит".
5. Уровень адекватного синтеза, критикуемый в быту по формуле "говорит он то, да получается что-то не то".

Рис.25 – Словесная модель уровней личности

Примерами словесных моделей является милицейский протокол, список

приглашенных гостей, пьеса и т.д.

Математическая модель – это совокупность математических выражений, определяющих формальную зависимость между входными и выходными данными моделируемого объекта или явления.

Эта совокупность может состоять из уравнений, неравенств, систем уравнений и неравенств, логических и числовых выражений.

Например, уравнения $S = V \cdot t$ и $S = V \cdot t + a \cdot t^2 / 2$ являются математическими моделями таких физических процессов, как равномерное и равноускоренное движение тела соответственно. Для построения математических моделей используется формализованный математический язык, состоящий из специальных символов.

2. Классификация по способу реализации (или инструментарию)

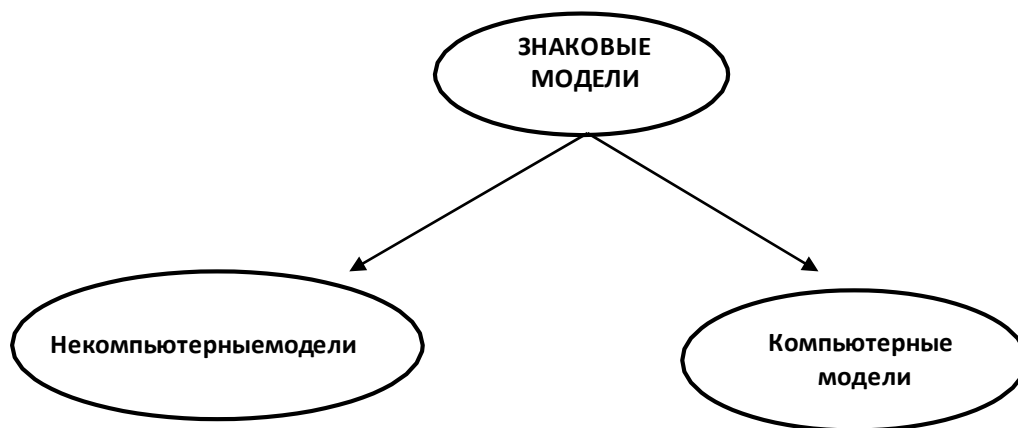


Рис. 26 - Схема классификации знаковых моделей по инструментарию

Схема классификации знаковых моделей по способу реализации (инструментарию) приведена на Рис.26.

К **некомпьютерным** относятся модели, для построения которых использован традиционный набор инструментов: карандаши, ручки, печатные машинки, линейки.