10. Лекция: Основы моделирования систем

Рассматриваются основные понятия моделирования систем, системные типы и свойства моделей, жизненный цикл моделирования (моделируемой системы).

Цель лекции: введение в понятийные основы моделирования систем.

Модель и *моделирование* - универсальные понятия, атрибуты одного из наиболее мощных методов познания в любой профессиональной области, познания системы, процесса, явления.

Модели и *моделирование* объединяют специалистов различных областей, работающих над решением межпредметных проблем, независимо от того, где эта *модель* и результаты *моделирования* будут применены. Вид *модели* и методы ее исследования больше зависят от информационно-логических связей элементов и подсистем моделируемой системы, ресурсов, связей с окружением, используемых при *моделировании*, а не от конкретной природы, конкретного наполнения системы.

У *моделей*, особенно математических, есть и дидактические аспекты - развитие модельного стиля мышления, позволяющего вникать в структуру и внутреннюю логику моделируемой системы.

Построение *модели* - системная задача, требующая анализа и синтеза исходных данных, гипотез, теорий, знаний специалистов. Системный подход позволяет не только построить *модель* реальной системы, но и использовать эту *модель* для оценки (например, эффективности управления, функционирования) системы.

Модель - объект или описание объекта, системы для замещения (при определенных условиях предложениях, гипотезах) одной системы (т.е. оригинала) другой системой для лучшего изучения оригинала или воспроизведения каких-либо его свойств. *Модель* - результат отображения одной структуры (изученной) на другую (малоизученную). Отображая физическую систему (объект) на математическую систему (например, математический аппарат уравнений), получим физико-математическую *модель* системы или математическую *модель* физической системы. Любая *модель* строится и исследуется при определенных допущениях, гипотезах.

Пример. Рассмотрим физическую систему: тело массой m скатывающееся по наклонной плоскости с ускорением a, на которое воздействует сила F. Исследуя такие системы, Ньютон получил математическое соотношение: $F=ma$. Это физико-математическая *модель* системы или математическая *модель* физической системы. При описании этой системы (построении этой *модели*) приняты следующие гипотезы: 1) поверхность идеальна (т.е. коэффициент трения равен нулю); 2) тело находится в вакууме (т.е. сопротивление воздуха равно нулю); 3) масса тела неизменна; 4) тело движется с одинаковым постоянным ускорением в любой точке.

Пример. Физиологическая система - система кровообращения человека - подчиняется некоторым законам термодинамики. Описывая эту систему на физическом (термодинамическом) языке балансовых законов, получим физическую, термодинамическую модель физиологической системы. Если записать эти законы на математическом языке, например, выписать соответствующие термодинамические уравнения, то уже получим математическую модель системы кровообращения. Назовем ее физиолого-физико-математической *моделью* или физико-математической *моделью*.

Пример. Совокупность предприятий функционирует на рынке, обмениваясь товарами, сырьем, услугами, информацией. Если описать экономические законы, правила их взаимодействия на рынке с помощью математических соотношений, например, системы алгебраических уравнений, где неизвестными будут величины прибыли, получаемые от взаимодействия предприятий, а коэффициентами уравнения будут значения интенсивностей таких взаимодействий, то получим математическую *модель* экономической системы, т.е. экономико-математическую *модель* системы предприятий на рынке.

Пример. Если банк выработал стратегию кредитования, смог описать ее с помощью экономико-математических *моделей* и прогнозирует свою тактику кредитования, то он имеет большую устойчивость и жизнеспособность.

Слово "*модель*" (лат. modelium) означает "мера", "способ", "сходство с какой-то вещью".

Моделирование базируется на математической теории подобия, согласно которой абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим точно таким же. При *моделировании* большинства систем (за исключением, возможно, *моделирования* одних математических структур другими) абсолютное подобие невозможно, и основная цель *моделирования* - *модель* достаточно хорошо должна отображать функционирование моделируемой системы.

Модели, если отвлечься от областей, сфер их применения, бывают трех типов: *познавательные*, *прагматические* и *инструментальные*.

Познавательная модель - форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний. *Познавательная модель*, как правило, подгоняется под реальность и является теоретической *моделью*.

Прагматическая модель - средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую *прагматическую модель*. Это, как правило, прикладные *модели*.

Инструментальная модель - средство построения, исследования и/или использования *прагматических* и/или *познавательных моделей*.

Познавательные отражают существующие, а *прагматические* - хоть и не существующие, но желаемые и, возможно, исполнимые отношения и связи.

По уровню, "глубине" *моделирования модели* бывают:

1. эмпирические - на основе эмпирических фактов, зависимостей;
2. теоретические - на основе математических описаний;
3. смешанные, полуэмпирические - на основе эмпирических зависимостей и математических описаний.

Проблема *моделирования* состоит из трех задач:

1. построение *модели* (эта задача менее формализуема и конструктивна, в том смысле, что нет алгоритма для построения *моделей*);
2. исследование *модели* (эта задача более формализуема, имеются методы исследования различных классов *моделей*);
3. использование *модели* (конструктивная и конкретизируемая задача).

Модель M, описывающая систему S(x1, x2, ..., xn; R), имеет вид: M=(z1, z2, ..., zm; Q), где zi∈Z, i=1, 2, ..., n, Q, R - множества отношений над X - множеством входных, выходных сигналов и состояний системы, Z - множество описаний, представлений элементов и подмножеств X.

Схема построения модели M системы S с входными сигналами X и выходными сигналами Y изображена на рис. 10.1.

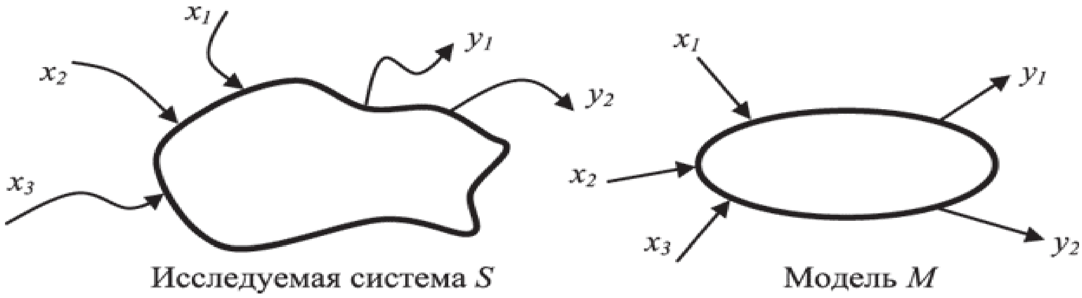

Рис. 10.1. Схема построения модели

Если на вход M поступают сигналы из X и на входе появляются сигналы Y, то задан закон, правило f функционирования *модели*, системы.

Моделирование - это универсальный метод получения, описания и использования знаний. Он используется в любой профессиональной деятельности. В современной науке и технологии роль и значение *моделирования* усиливается, актуализируется проблемами, успехами других наук. *Моделирование* реальных и нелинейных систем живой и неживой природы позволяет перекидывать мостики между нашими знаниями и реальными системами, процессами, в том числе и мыслительными.

Классификацию *моделей* проводят по различным критериям. Мы будем использовать наиболее простую и практически значимую.

Модель называется ***статической***, если среди параметров, участвующих в ее описании, нет временного параметра. *Статическая модель* в каждый момент времени дает лишь "фотографию" системы, ее срез.

Пример. Закон Ньютона F=am - это *статическая модель* движущейся с ускорением a материальной точки массой m. Эта *модель* не учитывает изменение ускорения от одной точки к другой.

Модель ***динамическая***, если среди ее параметров есть временной параметр, т.е. она отображает систему (процессы в системе) во времени.

Пример. *Модель* $S=gt^2/2$ - *динамическая модель* пути при свободном падении тела. *Динамическая модель* типа закона Ньютона: $F(t)=a(t)m(t)$. Еще лучшей формой динамической *модели* Ньютона является $F(t)=s''(t)m(t)$.

Модель ***дискретная***, если она описывает поведение системы только в дискретные моменты времени.

Пример. Если рассматривать только t=0, 1, 2, :, 10 (сек), то *модель* $S_t=gt^2/2$ или числовая последовательность $S_0=0$, $S_1=g/2$, $S_2=2g$, $S_3=9g/2$, :, $S_{10}=50g$ может служить *дискретной моделью* движения свободно падающего тела.

Модель ***непрерывная***, если она описывает поведение системы для всех моментов времени из некоторого промежутка времени.

Пример. *Модель* $S=gt^2/2$, $0<t<100$ непрерывна на промежутке времени (0;100).

Модель ***имитационная***, если она предназначена для испытания или изучения возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров *модели*.

Пример. Пусть *модель* экономической системы производства товаров двух видов 1 и 2, соответственно, в количестве x_1 и x_2 единиц и стоимостью каждой единицы товара a_1 и a_2 на предприятии описана в виде соотношения: $a_1x_1+a_2x_2=S$, где S - общая стоимость произведенной предприятием всей продукции (вида 1 и 2). Можно ее использовать в качестве *имитационной модели*, по которой можно определять (варьировать) общую стоимость S в зависимости от тех или иных значений объемов производимых товаров.

Модель ***детерминированная***, если каждому входному набору параметров соответствует вполне определенный и однозначно определяемый набор выходных параметров; в противном случае - *модель* недетерминированная, ***стохастическая*** (вероятностная).

Пример. Приведенные выше физические *модели* - детерминированные. Если в *модели* $S=gt^2/2$, $0<t<100$ мы учли бы случайный параметр - порыв ветра с силой p при падении тела, например, так: $S(p)=g(p)t^2/2$, $0<t<100$, то мы получили бы *стохастическую модель* (уже не свободного!) падения.

Модель ***функциональная***, если она представима в виде системы каких- либо функциональных соотношений.

Пример. Непрерывный, детерминированный закон Ньютона и *модель* производства товаров (см. выше) - функциональные.

Модель ***теоретико-множественная***, если она представима с помощью некоторых множеств и отношений принадлежности им и между ними.

Пример. Пусть заданы множество X={Николай, Петр, Николаев, Петров, Елена, Екатерина, Михаил, Татьяна} и отношения: Николай - супруг Елены, Екатерина - супруга Петра, Татьяна - дочь Николая и Елены, Михаил - сын Петра и Екатерины, семьи Михаила и Петра дружат друг с другом. Тогда множество X и множество перечисленных отношений Y могут служить *теоретико-множественной моделью* двух дружественных семей.

Модель ***логическая***, если она представима предикатами, логическими функциями.

Пример. Совокупность двух логических функций вида: $z=x \wedge y \vee x \wedge y$, $p=x \wedge y$ может служить математической моделью одноразрядного сумматора.

Модель ***игровая***, если она описывает, реализует некоторую игровую ситуацию между участниками игры (лицами, коалициями).

Пример. Пусть игрок 1 - добросовестный налоговый инспектор, а игрок 2 - недобросовестный налогоплательщик. Идет процесс (игра) по уклонению от налогов (с одной стороны) и по выявлению сокрытия уплаты налогов (с другой стороны). Игроки выбирают натуральные числа i и j $(i,j \le n)$, которые можно отождествить, соответственно, со штрафом игрока 2 за неуплату налогов при обнаружении факта неуплаты игроком 1 и с временной выгодой игрока 2 от сокрытия налогов (в средне- и долгосрочном плане штраф за сокрытие может оказаться намного более ощутимым). Рассмотрим матричную игру с матрицей выигрышей порядка n. Каждый элемент этой матрицы A определяется по правилу $a_{ij}=|i-j|$. *Модель* игры описывается этой матрицей и стратегией уклонения и поимки. Эта игра - антагонистическая, бескоалиционная (формализуемые в математической теории игр понятия мы пока будем понимать содержательно, интуитивно).

Модель ***алгоритмическая***, если она описана некоторым алгоритмом или комплексом алгоритмов, определяющим ее функционирование, развитие. Введение такого, на первый взгляд, непривычного типа *моделей* (действительно, кажется, что любая *модель* может быть представлена алгоритмом её исследования), на наш взгляд, вполне обосновано, так как не все *модели* могут быть исследованы или реализованы алгоритмически.

Пример. Моделью вычисления суммы бесконечного убывающего ряда чисел может служить алгоритм вычисления конечной суммы ряда до некоторой заданной степени точности. Алгоритмической *моделью* корня квадратного из числа x может служить алгоритм вычисления его приближенного сколь угодно точного значения по известной рекуррентной формуле.

Модель ***структурная***, если она представима структурой данных или структурами данных и отношениями между ними.

Пример. *Структурной моделью* может служить описание (табличное, графовое, функциональное или другое) трофической структуры экосистемы. Постройте такую *модель* (одна из них была приведена выше).

Модель графовая, если она представима графом или графами и отношениями между ними.

Модель ***иерархическая*** (древовидная), если представима некоторой иерархической структурой (деревом).

Пример. Для решения задачи нахождения маршрута в дереве поиска можно построить, например, древовидную *модель* (рис. 10.2):

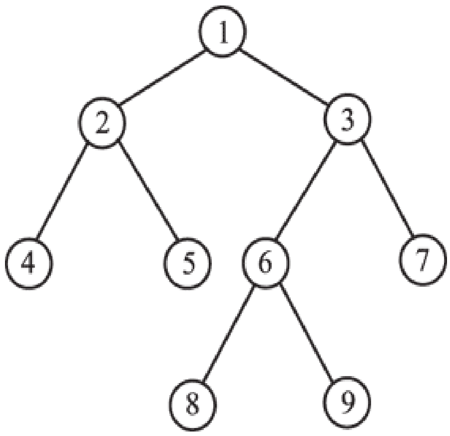

Рис. 10.2. Модель иерархической структуры

Модель ***сетевая***, если она представима некоторой сетевой структурой.

Пример. Строительство нового дома включает операции, приведенные в нижеследующей таблице.

Таблица работ при строительстве дома

№	Операция	Время выполнения (дни)	Предшествующие операции	Дуги графа
1	Расчистка участка	1	нет	-
2	Закладка фундамента	4	Расчистка участка (1)	1-2
3	Возведение стен	4	Закладка фундамента (2)	2-3
4	Монтаж	3	Возведение стен (3)	3-4

	электропроводки			
5	**Штукатурные работы**	**4**	**Монтаж электропроводки (4)**	**4-5**
6	**Благоустройство территории**	**6**	**Возведение стен (3)**	**3-6**
7	**Отделочные работы**	**4**	**Штукатурные работы (5)**	**5-7**
8	**Настил крыши**	**5**	**Возведение стен (3)**	**3-8**

Сетевая модель (сетевой график) строительства дома дана на рис. 10.3.

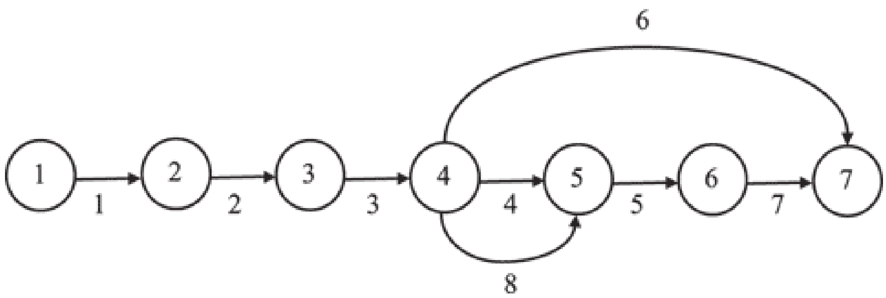

Рис. 10.3. Сетевой график строительства работ

Две работы, соответствующие дуге 4-5, параллельны, их можно либо заменить одной, представляющей совместную операцию (монтаж электропроводки и настил крыши) с новой длительностью 3+5=8, либо ввести на одной дуге фиктивное событие, тогда дуга 4-5 примет вид.

Модель языковая, ***лингвистическая***, если она представлена некоторым лингвистическим объектом, формализованной языковой системой или структурой. Иногда такие *модели* называют вербальными, синтаксическими и т.п.

Пример. Правила дорожного движения - языковая, *структурная модель* движения транспорта и пешеходов на дорогах. Пусть B - множество производящих основ существительных, C - множество суффиксов, P - прилагательных, "+" - операция конкатенации слов, ":=" - операция присваивания, "=>" - операция вывода (выводимости новых слов), Z - множество значений (смысловых) прилагательных. Языковая *модель* M словообразования: $<z_i><=<p_i>:=<b_i>+<s_i>$. При b_i - "рыб(а)", s_i - "н(ый)", получаем по этой *модели* p_i - "рыбный", z_i - "приготовленный из рыбы".

Модель ***визуальная***, если она позволяет визуализировать отношения и связи моделируемой системы, особенно в динамике.

Пример. На экране компьютера часто пользуются визуальной *моделью* того или иного объекта, например, клавиатуры в программе-тренажере по обучению работе на клавиатуре.

Модель ***натурная***, если она есть материальная копия объекта *моделирования*.

Пример. Глобус - натурная географическая *модель* земного шара.

Модель ***геометрическая***, графическая, если она представима геометрическими образами и объектами.

Пример. Макет дома является натурной *геометрической моделью* строящегося дома. Вписанный в окружность многоугольник дает *модель* окружности. Именно она используется при изображении окружности на экране компьютера. Прямая линия является *моделью* числовой оси, а плоскость часто изображается как параллелограмм.

Модель ***клеточно-автоматная***, если она представляет систему с помощью клеточного автомата или системы клеточных автоматов. Клеточный автомат - дискретная динамическая система, аналог физического (непрерывного) поля. Клеточно-автоматная геометрия - аналог евклидовой геометрии. Неделимый элемент евклидовой геометрии - точка, на основе ее строятся отрезки, прямые, плоскости и т.д. Неделимый элемент клеточно-автоматного поля - клетка, на основе её строятся кластеры клеток и различные конфигурации клеточных структур. Это "мир" некоторого автомата, исполнителя, структуры. Представляется клеточный автомат равномерной сетью клеток ("ячеек") этого поля. Эволюция клеточного автомата разворачивается в дискретном пространстве - клеточном поле. Такие клеточные поля могут быть вещественно-энерго-информационными. Законы эволюции локальны, т.е. динамика системы определяется задаваемым неизменным набором законов или правил, по которым осуществляется вычисление новой клетки эволюции и его материально-энерго-информационной характеристики в зависимости от состояния окружающих ее соседей (правила соседства, как уже сказано, задаются). Смена состояний в клеточно-автоматном поле происходит одновременно и параллельно, а время идет дискретно. Несмотря на кажущуюся простоту их построения, клеточные автоматы могут демонстрировать разнообразное и сложное поведение. В последнее время они широко используются при *моделировании* не только физических, но и социально-экономических процессов.

Клеточные автоматы (поля) могут быть одномерными, двумерными (с ячейками на плоскости), трехмерными (с ячейками в пространстве) или же многомерными (с ячейками в многомерных пространствах).

Пример. Классическая *клеточно-автоматная модель* - игра "Жизнь" Джона Конвея. Она описана во многих книгах. Мы рассмотрим другую *клеточно-автоматную модель* загрязнения среды, диффузии загрязнителя в некоторой среде. 2D-клеточный автомат (на плоскости) для *моделирования* загрязнения среды может быть сгенерирован следующими правилами:

1. плоскость разбивается на одинаковые клетки: каждая клетка может находиться в одном из двух состояний: состояние 1 - в ней есть диффундирующая частица загрязнителя, и состояние 0 - если ее нет;
2. клеточное поле разбивается на блоки 2×2 двумя способами, которые будем называть четным и нечетным разбиениями (у чётного разбиения в кластере или блоке находится четное число точек или клеток поля, у нечетного блока - их нечетное число);
3. на очередном шаге эволюции каждый блок четного разбиения поворачивается (по задаваемому правилу распространения загрязнения или генерируемому распределению случайных чисел) на заданный угол (направление поворота выбирается генератором случайных чисел);
4. аналогичное правило определяется и для блоков нечетного разбиения;
5. процесс продолжается до некоторого момента или до очищения среды.

Пусть единица времени - шаг клеточного автомата, единица длины - размер его клетки. Если перебрать всевозможные сочетания поворотов блоков четного и нечетного разбиения, то видим, что за один шаг частица может переместиться вдоль каждой из координатных осей на расстояние 0, 1 или 2 (без учета направления смещения) с вероятностями, соответственно, $p_0=1/4$, $p_1=1/2$, $p_2=1/4$. Вероятность попадания частицы в данную точку зависит лишь от ее положения в предыдущий момент времени, поэтому рассматриваем движение частицы вдоль оси x (y) как случайное.

На рис. 10.4 - фрагменты работы программы *клеточно-автоматной модели* загрязнения клеточной экосреды (размеры клеток увеличены).

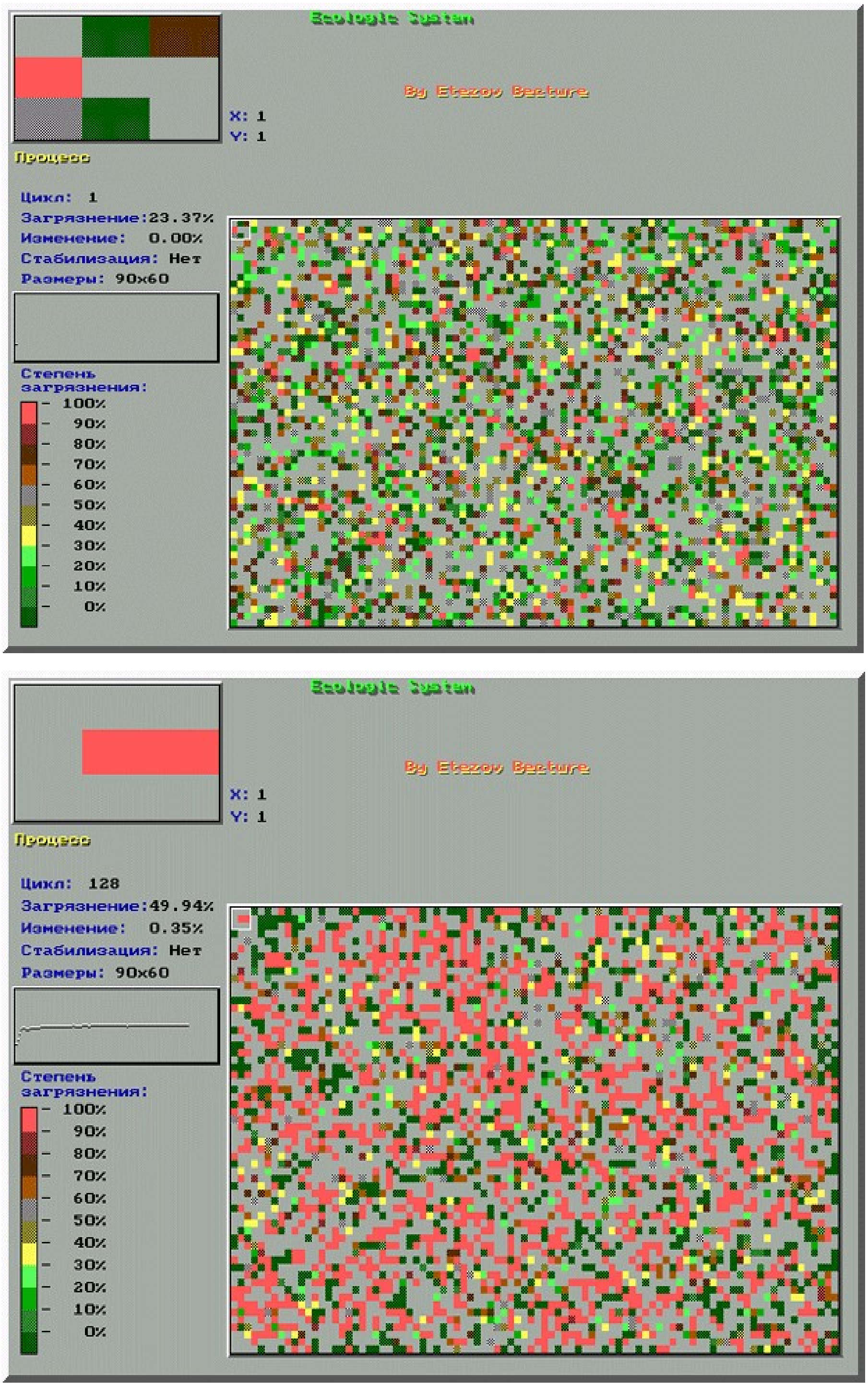

Рис. 10.4. Окно справа - состояние клеточного поля (в верхнем - исходное, слабо загрязненное, в нижнем - после 120 циклов загрязнения), в левом верхнем углу - "Микроскоп", увеличивающий кластер поля, в середине слева - график динамики загрязнения, внизу слева - индикаторы загрязнения

Модель ***фрактальная***, если она описывает эволюцию моделируемой системы эволюцией фрактальных объектов. Если физический объект однородный (сплошной), т.е. в нем нет полостей, можно считать, что плотность не зависит от размера. Например, при увеличении R до $2R$ масса увеличится в R^2

раз (круг) и в R^3 раз (шар), т.е. $M(R) \sim R^n$ (связь массы и длины), n - размерность пространства. Объект, у которого масса и размер связаны этим соотношением, называется "компактным". Плотность его

$$\rho \sim \frac{M}{R^n} \sim R^0 - const$$

Если объект (система) удовлетворяет соотношению $M(R) \sim R^{f(n)}$, где $f(n)<n$, то такой объект называется фрактальным. Его плотность не будет одинаковой для всех значений R, а масштабируется так:

$$\rho(R) \sim \frac{M(R)}{R^n} \sim R^{f(n)-n}$$

Так как $f(n)-n<0$, то плотность фрактального объекта уменьшается с увеличением размера, а $\rho(R)$ является количественной мерой разряженности, ветвистости (структурированности) объекта.

Пример. Пример *фрактальной модели* - множество Кантора. Рассмотрим [0;1]. Разделим его на 3 части и выбросим средний отрезок. Оставшиеся 2 промежутка опять разделим на три части и выкинем средние промежутки и т.д. Получим множество, назывемое множеством Кантора. В пределе получаем несчетное множество изолированных точек (рис. 10.5)

Рис. 10.5. Множество Кантора для 3-х делений

Можно показать, что если n - размерность множества Кантора, то $n=\ln 2/\ln 3 \approx 0,63$, т.е. этот объект (фрактал) еще не состоит только из изолированных точек, хотя уже и не состоит из отрезка. Фрактальные объекты ***самоподобны***, если они выглядят одинаково в любом пространственном масштабе, масштабно инвариантны, фрагменты структуры повторяются через определенные пространственные промежутки. Поэтому они очень хорошо подходят для *моделирования* нерегулярностей, так как позволяют описывать (например, дискретными моделями) эволюцию таких систем для любого момента времени и в любом пространственном масштабе.

Самоподобие встречается в самых разных предметах и явлениях.

Пример. Самоподобны ветки деревьев, снежинки, экономические системы (волны Кондратьева), горные системы.

Фрактальная модель применяется обычно тогда, когда реальный объект нельзя представить в виде классической модели, когда имеем дело с нелинейностью (многовариантностью путей развития и необходимостью выбора) и недетерминированностью, хаотичностью и необратимостью эволюционных процессов.

Тип модели зависит от информационной сущности моделируемой системы, от связей и отношений его подсистем и элементов, а не от его физической природы.

Пример. Математические описания (*модели*) динамики эпидемии инфекционной болезни, радиоактивного распада, усвоения второго иностранного языка, выпуска изделий производственного предприятия и т.д. являются одинаковыми с точки зрения их описания, хотя процессы различны.

Границы между моделями различного типа или же отнесение *модели* к тому или иному типу часто весьма условны. Можно говорить о различных режимах использования *моделей* - имитационном, стохастическом и т.д.

Модель включает в себя: объект O, субъект (не обязательный) A, задачу Z, ресурсы B, среду *моделирования* C: $M=\langle O, Z, A, B, C\rangle$.

Основные *свойства* любой *модели*:

1. целенаправленность - *модель* всегда отображает некоторую систему, т.е. имеет цель;
2. конечность - *модель* отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы *моделирования* конечны;
3. упрощенность - *модель* отображает только существенные стороны объекта и, кроме того, должна быть проста для исследования или воспроизведения;
4. приблизительность - действительность отображается *моделью* грубо или приблизительно;
5. адекватность - *модель* должна успешно описывать моделируемую систему;
6. наглядность, обозримость основных ее свойств и отношений;
7. доступность и технологичность для исследования или воспроизведения;
8. информативность - *модель* должна содержать достаточную информацию о системе (в рамках гипотез, принятых при построении *модели*) и должна давать возможность получить новую информацию;
9. сохранение информации, содержавшейся в оригинале (с точностью рассматриваемых при построении *модели* гипотез);
10. полнота - в *модели* должны быть учтены все основные связи и отношения, необходимые для обеспечения цели *моделирования*;
11. устойчивость - *модель* должна описывать и обеспечивать устойчивое поведение системы, если даже она вначале является неустойчивой;
12. целостность - *модель* реализует некоторую систему (т.е. целое);
13. замкнутость - *модель* учитывает и отображает замкнутую систему необходимых основных гипотез, связей и отношений;
14. адаптивность - *модель* может быть приспособлена к различным входным параметрам, воздействиям окружения;
15. управляемость (имитационность) - *модель* должна иметь хотя бы один параметр, изменениями которого можно имитировать поведение моделируемой системы в различных условиях;
16. эволюционируемость - возможность развития *моделей* (предыдущего уровня).

Жизненный цикл моделируемой системы:

1. сбор информации об объекте, выдвижение гипотез, предмодельный анализ;
2. проектирование структуры и состава *моделей* (подмоделей);

3. построение спецификаций *модели*, разработка и отладка отдельных подмоделей, сборка *модели* в целом, идентификация (если это нужно) параметров *моделей*;
4. исследование *модели* - выбор метода исследования и разработка алгоритма (программы) *моделирования*;
5. исследование адекватности, устойчивости, чувствительности *модели*;
6. оценка средств *моделирования* (затраченных ресурсов);
7. интерпретация, анализ результатов *моделирования* и установление некоторых причинно-следственных связей в исследуемой системе;
8. генерация отчетов и проектных (народно-хозяйственных) решений;
9. уточнение, модификация *модели*, если это необходимо, и возврат к исследуемой системе с новыми знаниями, полученными с помощью *модели* и *моделирования*.

Моделирование - метод системного анализа. Но часто в системном анализе при модельном подходе исследования может совершаться одна методическая ошибка, а именно, - построение корректных и адекватных *моделей* (подмоделей) подсистем системы и их логически корректная увязка не дает гарантий корректности построенной таким способом *модели* всей системы. *Модель*, построенная без учета связей системы со средой и ее поведения по отношению к этой среде, может часто лишь служить еще одним подтверждением теоремы Геделя, а точнее, ее следствия, утверждающего, что в сложной изолированной системе могут существовать истины и выводы, корректные в этой системе и некорректные вне ее.

Наука *моделирования* состоит в разделении процесса *моделирования* (системы, *модели*) на этапы (подсистемы, подмодели), детальном изучении каждого этапа, взаимоотношений, связей, отношений между ними и затем эффективного описания их с максимально возможной степенью формализации и адекватности. В случае нарушения этих правил получаем не *модель* системы, а *модель* "собственных и неполных знаний".

Моделирование (в значении "метод", "модельный эксперимент") рассматривается как особая форма эксперимента, эксперимента не над самим оригиналом (это называется простым или обычным экспериментом), а над копией (заместителем) оригинала. Здесь важен изоморфизм систем (оригинальной и модельной) - изоморфизм, как самой копии, так и знаний, с помощью которых она была предложена.

Модели и *моделирование* применяются по основным направлениям:

1. обучение (как *моделям*, *моделированию*, так и самих *моделей*);
2. познание и разработка теории исследуемых систем (с помощью каких-либо *моделей*, *моделирования*, результатов *моделирования*);
3. прогнозирование (выходных данных, ситуаций, состояний системы);
4. управление (системой в целом, отдельными подсистемами системы), выработка управленческих решений и стратегий;
5. автоматизация (системы или отдельных подсистем системы).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое *модель*, для чего она нужна и как используется? Какая модель называется статической (динамической, дискретной и т.д.)?
2. Каковы основные свойства моделей и насколько они важны?
3. Что такое жизненный цикл моделирования (моделируемой системы)?

Темы научных исследований и рефератов

1. Моделирование как метод, методология, технология.
2. Модели в микромире и макромире.
3. Линейность моделей (наших знаний) и нелинейность явлений природы и общества.