

4. Основные понятия теории систем. Принципы системного подхода в моделировании систем. Общая характеристика проблемы моделирования систем. Классификация видов моделирования систем. Возможности и эффективность моделирования систем на вычислительных машинах.

Классификация видов моделирования систем

<http://victor-safronov.narod.ru/systems-analysis/lectures/rodionov/08.html>

Основные понятия теории систем

Система — это полный, целостный набор элементов (компонентов), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы.

Объект.

Объектом познания является часть реального мира, которая выделяется и воспринимается как единое целое в течение длительного времени. Объект может быть материальным и абстрактным, естественным и искусственным. Реально объект обладает бесконечным набором свойств различной природы. Практически в процессе познания взаимодействие осуществляется с ограниченным множеством свойств, лежащих в пределах возможности их восприятия и необходимости для цели познания. Поэтому система как образ объекта задаётся на конечном множестве отобранных для наблюдения свойств.

Внешняя среда.

Понятие «система» возникает там и тогда, где и когда мы материально или умозрительно проводим замкнутую границу между неограниченным или некоторым ограниченным множеством элементов. Те элементы с их соответствующей взаимной обусловленностью, которые попадают внутрь, — образуют систему.

Те элементы, которые остались за пределами границы, образуют множество, называемое в теории систем «системным окружением» или просто «окружением», или «внешней средой».

Т.о. Внешняя среда представляет собой совокупность объектов, не являющихся элементами данной системы, взаимодействие с которыми учитывается при изучении системы.

Компонент

Компонент - любая часть системы, вступающая в определённые отношения с другими частями (подсистемами, элементами).

Элемент

Элементом системы является часть системы с однозначно определёнными свойствами, выполняющие определённые функции и не подлежащие дальнейшему разбиению в рамках решаемой задачи (с точки зрения исследователя).

Структура системы.

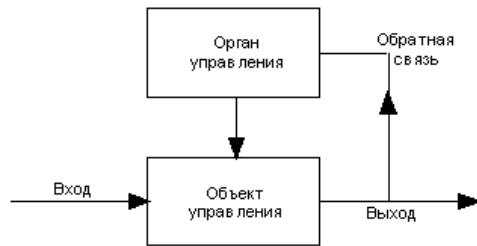
Под структурой системы понимается **устойчивое множество отношений, которое сохраняется длительное время неизменным, по крайней мере в течение интервала наблюдения.** Структура системы опережает определённый уровень сложности по составу отношений на множестве элементов системы или что эквивалентно, уровень разнообразия проявлений объекта.

Связи — это элементы, осуществляющие непосредственное взаимодействие между элементами (или подсистемами) системы, а также с элементами и подсистемами окружения.

Прямые связи предназначены для заданной функциональной передачи вещества, энергии, информации или их комбинаций — от одного элемента к другому в направлении основного процесса.

Обратные связи, в основном, выполняют осведомляющие функции, отражая изменение состояния системы в результате управляющего воздействия на нее. Процессы управления, адаптации, саморегулирования, самоорганизации, развития невозможны без использования обратных связей. С помощью обратной связи сигнал (информация) с выхода системы (объекта управления) передается в орган управления. Здесь этот сигнал, содержащий информации о работе, выполненной объектом управления, сравнивается с сигналом, задающим содержание и объем работы (например, план). В случае возникновения

рассогласования между фактическим и плановым состоянием работы принимаются меры по его устранению.



Критерии — признаки, по которым производится оценка соответствия функционирования системы желаемому результату (цели) при заданных ограничениях.

Эффективность системы — соотношение между заданным (целевым) показателем результата функционирования системы и фактически реализованным.

Функционирование любой произвольно выбранной системы состоит в переработке входных (известных) параметров и известных параметров воздействия окружающей среды в значения выходных (неизвестных) параметров с учетом факторов обратной связи.

Вход — все, что изменяется при протекании процесса (функционирования) системы.

Выход — результат конечного состояния процесса.

Процессор — перевод входа в выход.

Ограничение — обеспечивает соответствие между выходом системы и требованием к нему, как к входу в последующую систему — потребитель. Если заданное требование не выполняется, ограничение не пропускает его через себя. Ограничение, таким образом, играет роль согласования функционирования данной системы с целями (потребностями) потребителя.

Проблема — это разница между существующей и желаемой системами. Если этой разницы нет, то нет и проблемы.

Решить проблему — значит скорректировать старую систему или сконструировать новую, желаемую.

Состоянием системы называется совокупность существенных свойств, которыми система обладает в каждый момент времени.

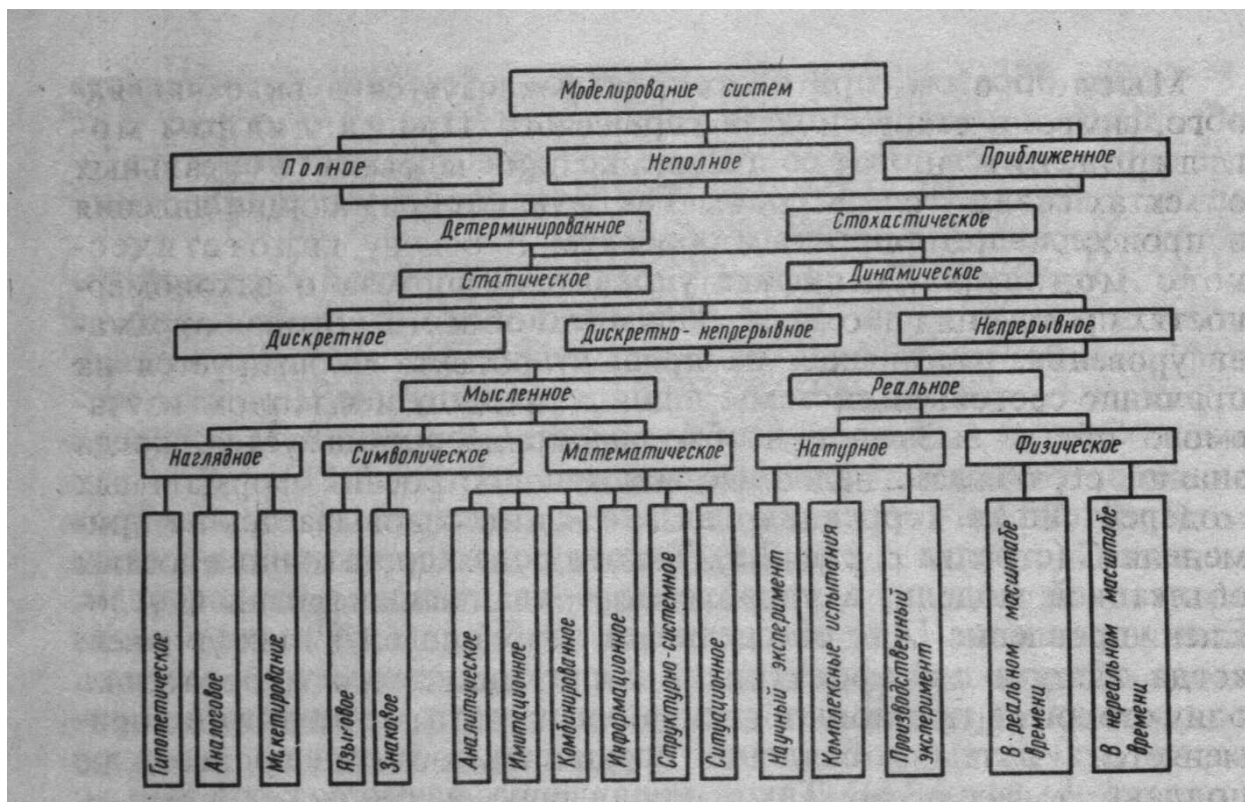
Основные принципы системного подхода

- **Целостность**, позволяющая рассматривать одновременно систему как единое целое и в то же время как подсистему для вышестоящих уровней.
- **Иерархичность строения**, то есть наличие множества (по крайней мере, двух) элементов, расположенных на основе подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня. Реализация этого принципа хорошо видна на примере любой конкретной организации. Как известно, любая организация представляет собой взаимодействие двух подсистем: управляющей и управляемой. Одна подчиняется другой.
- **Структуризация**, позволяющая анализировать элементы системы и их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры. Как правило, процесс функционирования системы обусловлен не столько свойствами её отдельных элементов, сколько свойствами самой структуры.
- **Множественность**, позволяющая использовать множество кибернетических, экономических и математических моделей для описания отдельных элементов и системы в целом.
- **Системность**, свойство объекта обладать всеми признаками системы.

Общая характеристика проблемы моделирования систем

Определение качества функционирования большой системы, выбор оптимальной структуры и алгоритмов поведения, построение системы S в соответствии с поставленной перед ней целью — основная проблема при проектировании современных систем, поэтому моделирование можно рассматривать как один из методов, используемых при проектировании и исследовании больших систем.

Классификация видов моделирования систем



пояснение см в приложении А.

Возможности и эффективность моделирования систем на вычислительных машинах.

Средства моделирования систем

При математическом моделировании используются три основных средства моделирования систем: аналоговые (АВМ), электронные вычислительные машины (ЭВМ) и гибридные вычислительные комплексы (ГВК).

АВМ используется при аналитическом моделировании для ускорения составления и расчета характеристик простой модели. Однако при использовании АВМ повышается погрешность, т.е. уменьшается точность результатов, которая дополнительно ограничена точностью приборов.

ЭВМ используется для расчета характеристик математической аналитической модели, а также и при имитационном моделировании. Современные ЭВМ можно разделить на две группы: *универсальные*, предназначенные для выполнения расчетных работ, и *управляющие*, позволяющие проводить не только расчетные работы, но прежде всего приспособленные для управления объектами в реальном масштабе времени, а также и для имитационного моделирования.

ГВК сочетает высокую скорость функционирования аналоговых средств и высокую точность расчетов на базе цифровых средств вычислительной техники. Аналоговая часть ускоряет получение конечных результатов, сохраняя некоторую наглядность протекания реального процесса, а цифровая позволяет осуществить контроль за реализацией модели, создать программы по обработке и хранению результатов моделирования, обеспечивает эффективный диалог исследователя с моделью.

Обеспечение имитационного моделирования

Имитационная система реализуется на ЭВМ и позволяет исследовать имитационную модель M , задаваемую в виде определенной совокупности отдельных блочных моделей и связей между ними в их взаимодействии в пространстве и времени при реализации какого-либо процесса. Можно выделить три основные группы блоков:

- блоки, характеризующие моделируемый процесс функционирования системы S ;
- блоки, отражающие внешнюю среду E и ее воздействие на реализуемый процесс;
- блоки, играющие служебную вспомогательную роль, обеспечивая взаимодействие первых двух, а также выполняющие дополнительные функции по получению и обработке результатов моделирования.

Кроме того, имитационная система характеризуется набором переменных, с помощью которых удастся управлять изучаемым процессом, и набором начальных условий, когда можно изменять условия (план) проведения машинного эксперимента.

Математическое обеспечение имитационной системы – совокупность математических соотношений, описывающих поведение реального объекта, совокупность алгоритмов, обеспечивающих как подготовку (ввод исходных данных), так и работу с моделью (имитация, вывод, обработка результатов).

Программное обеспечение – совокупность программ: планирования эксперимента, имитационной модели, проведения эксперимента, обработки и интерпретации результатов, синхронизации процессов в модели (псевдопараллельное выполнение процессов в модели).

Информационное обеспечение – средства и технология организации и реорганизации базы данных моделирования, методы логической и физической организации массивов, формы документов, описывающих процесс моделирования и его результаты.

Техническое обеспечение – средства вычислительной техники, связи и обмена между оператором и сетью ЭВМ, ввода и вывода информации, управления проведением эксперимента.

Эргономическое обеспечение – совокупность научных и прикладных методик и методов, а также нормативно-технических и организационно-методических документов, создающих оптимальные условия для высокопроизводительной деятельности человека во взаимодействии с моделирующим комплексом.

Достоинства и недостатки имитационного моделирования

Основные *достоинства* имитационного моделирования при исследовании сложных систем:

- возможность исследовать особенности процесса функционирования системы S в любых условиях;
- за счет применения ЭВМ существенно сокращается продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом;
- результаты натурных испытаний реальной системы или ее частей можно использовать для проведения имитационного моделирования;
- гибкость варьирования структуры, алгоритмов и параметров моделируемой системы при поиске оптимального варианта системы;
- для сложных систем – это единственный практически реализуемый метод исследования процесса функционирования систем.

Основные *недостатки* имитационного моделирования:

- для полного анализа характеристик процесса функционирования систем и поиска оптимального варианта требуется многократно воспроизводить имитационный эксперимент, варьируя исходные данные задачи;
- большие затраты машинного времени.

Эффективность машинного моделирования

При моделировании необходимо обеспечить максимальную эффективность модели системы. *Эффективность* обычно определяется как некоторая разность между какими-то показателями ценности результатов, полученных при эксплуатации модели, и теми затратами, которые были вложены в ее разработку и создание.

Эффективность имитационного моделирования может оцениваться рядом критериев:

- точностью и достоверностью результатов моделирования,

- временем построения и работы с моделью M ,
- затратой машинных ресурсов (время и память),
- стоимостью разработки и эксплуатации модели.

Наилучшей оценкой эффективности является сравнение полученных результатов с реальными исследованиями. С помощью статистического подхода с определенной степенью точности (в зависимости от числа реализаций машинного эксперимента) получают усредненные характеристики поведения системы.

Суммарные затраты машинного времени складываются из времени по вводу и выводу по каждому алгоритму моделирования, времени на проведение вычислительных операций, с учетом обращения к оперативной памяти и внешним устройствам, а также сложности каждого моделирующего алгоритма и планирования экспериментов.

Приложение А

Пояснение к схеме «Классификация видов моделирования систем»

В соответствии с классификационным признаком полноты моделирование делится на: полное, неполное, приближенное.

При **полном** моделировании модели идентичны объекту во времени и пространстве.

Для **неполного** моделирования эта идентичность не сохраняется.

В основе **приближенного** моделирования лежит подобие, при котором некоторые стороны реального объекта не моделируются совсем. Исследователи стремятся к тому, чтобы модель хорошо отображала только исследуемый аспект системы.

В зависимости от типа носителя и сигнатуры модели различаются следующие виды моделирования: детерминированное и стохастическое, статическое и динамическое, дискретное, непрерывное и дискретно-непрерывное.

Детерминированное моделирование отображает процессы, в которых предполагается отсутствие случайных воздействий.

Стохастическое моделирование учитывает вероятностные процессы и события.

Статическое моделирование служит для описания состояния объекта в фиксированный момент времени, а динамическое — для исследования объекта во времени. При этом оперируют аналоговыми (непрерывными), дискретными и смешанными моделями.

В зависимости от формы реализации носителя и сигнатуры моделирование классифицируется на мысленное и реальное.

Мысленное моделирование применяется тогда, когда модели не реализуемы в заданном интервале времени либо отсутствуют условия для их физического создания (например, ситуация микромира). Мысленное моделирование реальных систем реализуется в виде наглядного, символического и математического.

При **наглядном** моделировании на базе представлений человека о реальных объектах создаются наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте. Примером таких моделей являются учебные плакаты, рисунки, схемы, диаграммы.

В основу **гипотетического** моделирования закладывается 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. Этот вид моделирования используется, когда знаний об объекте недостаточно для построения формальных моделей. Аналоговое моделирование основывается на применении аналогий различных уровней. Для достаточно простых объектов наивысшим уровнем является полная аналогия. С усложнением системы используются аналогии последующих уровней, когда аналоговая модель отображает несколько (или только одну) сторон функционирования объекта.

Макетирование применяется, когда протекающие в реальном объекте процессы не поддаются физическому моделированию или могут предшествовать проведению других видов моделирования. В основе построения мысленных макетов также лежат аналогии, обычно базирующиеся на причинно-следственных связях между явлениями и процессами в объекте.

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

В основе **языкового** моделирования лежит некоторый тезаурус, который образуется из набора понятий исследуемой предметной области, причем этот набор должен быть фиксированным. Под тезаурусом

понимается словарь, отражающий связи между словами или иными элементами данного языка, предназначенный для поиска слов по их смыслу.

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.

Математическое моделирование — это процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью. В принципе, для исследования характеристик любой системы математическими методами, включая и машинные, должна быть обязательно проведена формализация этого процесса, т.е. построена математическая модель. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач исследования объекта, от требуемой достоверности и точности решения задачи. Любая математическая модель, как и всякая другая, описывает реальный объект с некоторой степенью приближения.

Для представления математических моделей могут использоваться различные формы записи. Основными являются инвариантная, аналитическая, алгоритмическая и схемная (графическая).

Инвариантная форма — запись соотношений модели с помощью традиционного математического языка безотносительно к методу решения уравнений модели. В этом случае модель может быть представлена как совокупность входов, выходов, переменных состояния и глобальных уравнений системы.

Для **аналитического** моделирования характерно то, что в основном моделируется только функциональный аспект системы. При этом глобальные уравнения системы, описывающие закон (алгоритм) ее функционирования, записываются в виде некоторых аналитических соотношений (алгебраических, интегродифференциальных, конечноразностных и т.д.) или логических условий. Аналитическая модель исследуется несколькими методами:

- аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными состояния системы;
- численным, когда, не умея решать уравнения в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных (напомним, что такие модели называются цифровыми);
- качественным, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения (например, оценить устойчивость решения).

Алгоритмическая форма — запись соотношений модели и выбранного численного метода решения в форме алгоритма. Среди алгоритмических моделей важный класс составляют имитационные модели, предназначенные для имитации физических или информационных процессов при различных внешних воздействиях. Собственно имитацию названных процессов называют имитационным моделированием.

При **имитационном** моделировании воспроизводится алгоритм функционирования системы во времени — поведение системы, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы. Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач.

В имитационном моделировании различают метод статистических испытаний (Монте-Карло) и метод статистического моделирования

Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей производится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы, и для тех из них, где это возможно, используются аналитические модели, а для остальных подпроцессов строятся имитационные модели. Такой подход дает возможность охватить качественно новые классы систем, которые не могут быть исследованы с использованием аналитического или имитационного моделирования в отдельности.

Информационное (кибернетическое) моделирование связано с исследованием моделей, в которых отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в моделях, реальным процессам. В этом случае стремятся отобразить лишь некоторую функцию, рассматривают реальный объект как «черный ящик», имеющий ряд входов и выходов, и моделируют некоторые связи между выходами и входами. Таким образом, в основе информационных (кибернетических) моделей лежит отражение некоторых информационных процессов управления, что позволяет оценить поведение реального объекта. Для построения модели в этом случае необходимо выделить исследуемую функцию реального объекта, попытаться формализовать эту функцию в виде некоторых операторов связи между входом и выходом и воспроизвести данную функцию на имитационной модели, причем на совершенно другом математическом языке и, естественно, иной физической реализации процесса.

Структурное моделирование системного анализа базируется на некоторых специфических особенностях структур определенного вида, которые используются как средство исследования систем или служат для разработки на их основе специфических подходов к моделированию с применением других методов формализованного представления систем (теоретико-множественных, лингвистических, кибернетических и т.п.). Развитием структурного моделирования является **объектно-ориентированное** моделирование.

Структурное моделирование системного анализа включает:

- методы сетевого моделирования;
- сочетание методов структуризации с лингвистическими;
- структурный подход в направлении формализации построения и исследования структур разного типа (иерархических, матричных, произвольных графов) на основе теоретико-множественных представлений и понятия номинальной шкалы теории измерений.

Ситуационное моделирование опирается на модельную теорию мышления, в рамках которой можно описать основные механизмы регулирования процессов принятия решений. В центре модельной теории мышления лежит представление о формировании в структурах мозга информационной модели объекта и внешнего мира. Эта информация воспринимается человеком на базе уже имеющихся у него знаний и опыта. Целесообразное поведение человека строится путем формирования целевой ситуации и мысленного преобразования исходной ситуации в целевую. Основой построения модели является описание объекта в виде совокупности элементов, связанных между собой определенными отношениями, отображающими семантику предметной области. Модель объекта имеет многоуровневую структуру и представляет собой тот информационный контекст, на фоне которого протекают процессы управления. Чем богаче информационная модель объекта и выше возможности манипулирования ею, тем лучше и многообразнее качество принимаемых решений при управлении.

При **реальном** моделировании используется возможность исследования характеристик либо на реальном объекте целиком, либо на его части. Такие исследования проводятся как на объектах, работающих в нормальных режимах, так и при организации специальных режимов для оценки интересующих исследователя характеристик (при других значениях переменных и параметров, в другом масштабе времени и т.д.). Реальное моделирование является наиболее адекватным, но его возможности ограничены.

Натурным моделированием называют проведение исследования на реальном объекте с последующей обработкой результатов эксперимента на основе теории подобия. Натурное моделирование подразделяется на научный эксперимент, комплексные испытания и производственный эксперимент. **Научный эксперимент** характеризуется широким использованием средств автоматизации, применением весьма разнообразных средств обработки информации, возможностью вмешательства человека в процесс проведения эксперимента. Одна из разновидностей эксперимента — **комплексные испытания**, в процессе которых вследствие повторения испытаний объектов в целом (или больших частей системы) выявляются общие закономерности о характеристиках качества, надежности этих объектов. В этом случае моделирование осуществляется путем обработки и обобщения сведений о группе однородных явлений. Наряду со специально организованными испытаниями возможна реализация натурного моделирования путем обобщения опыта, накопленного в ходе производственного процесса, т.е. можно говорить о **производственном эксперименте**. Здесь на базе теории подобия обрабатывают статистический материал по производственному процессу и получают его обобщенные характеристики. Необходимо помнить про отличие эксперимента от реального протекания процесса. Оно заключается в том, что в эксперименте могут появиться отдельные критические ситуации и определиться границы устойчивости процесса. В ходе эксперимента вводятся новые факторы возмущающие воздействия в процесс функционирования объекта.

Другим видом реального моделирования является **физическое**, отличающееся от натурного тем, что исследование проводится в установках, которые сохраняют природу явлений и обладают физическим подобием. В процессе физического моделирования задаются некоторые характеристики внешней среды и исследуется поведение либо реального объекта, либо его модели при заданных или создаваемых искусственно воздействиях внешней среды. Физическое моделирование может протекать в реальном и модельном (псевдореальном) масштабах времени или рассматриваться без учета времени. В последнем случае изучению подлежат так называемые «замороженные» процессы, фиксируемые в некоторый момент времени.