

Раздел 1. Теория систем

Тема 4. Моделирование систем

4. 1. Понятие о моделях и моделировании.

Познание окружающего мира происходит в результате накопления знаний, которые передаются из поколения в поколение устно, позже письменно и с помощью предметных моделей. Так была создана модель Земного шара - глобус, позволяющая получить наглядное представление о форме нашей планеты, ее вращении вокруг собственной оси и о расположении материков. Модели помогают понять, как устроена конкретная система, узнать ее основные свойства, установить законы ее развития и взаимодействия с окружающей средой.

Моделирование является одним из главных методов исследования систем, которой используется практически во всех научных дисциплинах и оказывается незаменимым инструментом при решении сложных прикладных задач.

Слово «модель» (от лат. modelium) означает «мера», «способ», «сходство с какой-то вещью».

Суть моделирования заключается в следующем. Исследование различного рода систем зачастую начинается с построения гипотезы об их устройстве и функционировании. Гипотеза строится на основании опытных данных, предположений, наблюдений и других информационных источников. При построении гипотезы, как правило, используются проверенные опытным путем аналогии, т.е. некоторые суждения о сходстве систем. Именно на аналогиях строятся современные научные гипотезы, которые сводятся, например, к упрощенным и удобным для исследования логическим схемам рассуждений. Такие логические схемы, упрощающие рассуждения, построения, сам эксперимент, и называются моделями. Таким образом, модель - это некий заменитель объекта – оригинала, обладающий существенными для исследователя свойствами оригинала.

Модель – это объект (физический) или описание объекта (информационный заменитель), 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. Соответственно, **моделирование** – это процесс построения, изучения и применения моделей с целью получения информации о свойствах объекта – оригинала.

Моделирование занимает важное место в исследовании и изучении сложных систем. Полученные при моделировании результаты используются для последующего системного анализа, позволяющего познавать системы и предсказать их поведение. Поэтому основная цель данной темы связана с уяснением сущности моделирования и особенностей его применения для изучения различных систем. Пусть имеется некоторая конкретная система. Лишь в единичных случаях мы имеем возможность провести с самой этой системой все интересующие нас исследования. С ростом сложности системы возможности натурального эксперимента резко снижаются. Он становится трудоемким, длительным по времени и требует больших материальных затрат. Поэтому исследования проводятся с помощью модели. Моделирование применяется также в тех случаях, когда нет возможности исследовать систему в интересующем нас

состоянии. Например, исследование причин аварии на каком-либо объекте. Специалист по электронной технике изучает большинство типов ЭВМ по информационным источникам, и лишь только некоторые из них на практике. Модель (моделирование) позволяет «играть» с ней: включать, или отключать те или иные связи, менять их для того, чтобы понять важность для поведения системы в целом. Модель (моделирование) позволяет научиться правильно управлять объектом путем обучения управления на моделях различных объектов.

Рассмотрение вместо самой системы ее модели практически всегда несет идею упрощения реальной системы, так как при моделировании мы используем в основном те параметры, которые необходимы для достижения поставленных задач и цели исследования. Но вопрос выделения и формальной фиксации тех особенностей и параметров, которые существенны для целей рассмотрения, весьма непросто. Известно большое количество успешных моделей, созданных человеком, например, периодическая система элементов или модель генетического кода. Однако существует множество сложных, актуальных и важных проблем, для которых на настоящий момент нет удовлетворительного описания. Термин модель неоднозначен и охватывает чрезвычайно широкий круг материальных и идеальных объектов. Признаком, объединяющим различные виды моделей (математических, материальных, и др.), является их информационная сущность. Любая модель – идеальная или материальная, используемая в целях исследования систем, на производстве или в быту – несет информацию о свойствах и характеристиках исходного объекта (объекта - оригинала), существенных для решаемой субъектом задачи. При моделировании свойства одного объекта переносятся на другой таким образом, чтобы взаимосвязь свойств модели и свойств объекта была бы аналогичной. Наблюдая за процессами в модели или за ее поведением, субъект делает выводы о процессах в объекте и его поведением. 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.

Модели и моделирование используются для того, чтобы:

- а) понять, как устроена система – оригинал, какова ее структура, основные свойства, закономерности функционирования и развития;
- б) научиться управлять системой и процессом ее функционирования, в том числе определять оптимальные управляющие воздействия при заданных целях и критериях;
- в) прогнозировать последствия реализации конкретных способов и форм воздействия на исследуемую систему.

В соответствии с двумя видами задач (экспертной и конструктивной) системное моделирование представляет два вида моделей.

Для решения экспертной задачи моделируется уже существующая система. Получившаяся модель будет познавательной. Она подгоняется под реальность путем последующего сравнения предсказаний модели с действительным развитием событий.

Для решения конструктивной задачи нужно создать модель системы с заданными свойствами. Такая модель называется прагматической, то есть такой, под которую потом будет подгоняться реальность. Необходимо отметить, что познавательный и прагматичный пути моделирования не всегда приводят к положительному результату. Иногда сценарий, построенный на основе познавательной модели, не соответствует действительности, а осуществленный проект, построенный на основе прагматической модели, не приводит к достижению поставленной цели. В первом случае законы могут быть прописаны неправильно или неполно, а во втором –

изменения, сделанные при моделировании, внесут изменения в поведение модели по сравнению с реальной системой. Чтобы этого избежать, существуют определенные требования к моделям.

4.2. Основные требования к моделям.

Для того, чтобы модель соответствовала своему назначению, недостаточно создать просто модель. Необходимо, чтобы она отвечала ряду требований, обеспечивающих ее назначение.

К наиболее важным требованиям моделей можно отнести: адекватность, экономичность, степень их сложности, непротиворечивость, независимость, предсказательность, полноту и ингерентность.

Под адекватностью (от лат. *adaequatus* – приравненный) понимают степень соответствия результатов, полученных по разработанной модели, данным эксперимента или тестовой задачи.

Адекватность модели - соответствие действительности данных о системе, полученных на основе моделей. Т. е. результаты, полученные на основе модели пригодны для прогнозирования поведения или свойств оригинала.

Проверка адекватности модели может производиться путем сравнения показателей, полученных на модели с реальными, а также путем экспертного анализа. Если система, для которой разрабатывается модель, существует, то сравнивают выходные данные модели и этой системы. В том случае, когда два набора данных оказываются подобными, модель существующей системы считается адекватной. Если по результатам проверки адекватности выявляются недопустимые расхождения между системой и ее моделью, в модель вносят необходимые изменения. В общем случае под адекватностью понимают степень соответствия модели тому реальному явлению или объекту, для описания которого она строится. Вместе с тем, создаваемая модель ориентирована, как правило, на исследование определенного подмножества свойств этого объекта. Поэтому можно считать, что адекватность модели определяется степенью ее соответствия не столько реальному объекту, сколько целям исследования. В наибольшей степени это утверждение справедливо относительно моделей проектируемых систем (то есть в ситуациях, когда реальная система вообще не существует). Один из наиболее распространенных способов проверки адекватности моделей является использование методов математической статистики. Суть этих методов заключается в проверке выдвинутой гипотезы (в данном случае — об адекватности модели) на основе некоторых статистических критериев. При проверке гипотез методами математической статистики необходимо иметь в виду, что статистические критерии не могут доказать ни одной гипотезы — они могут лишь указать на отсутствие опровержения. Итак, каким же образом можно оценить адекватность разработанной модели реально существующей системе? Процедура оценки основана на сравнении измерений на реальной системе и результатов экспериментов на модели и может проводиться различными способами. Наиболее распространенные из них:

- а) по средним значениям откликов модели и системы;
- б) по дисперсиям отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы;
- в) по максимальному значению относительных отклонений откликов модели от откликов системы.

Если результаты проверки модели исследования соответствуют выбранным критериям и могут служить основой для прогнозирования в исследуемых системах, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев, например, распределение Стьюдента. Т.е. значение t_n , вычисленное по результатам

испытаний, сравнивается с критическим значением t_{KP} взятым из справочной таблицы. Если выполняется неравенство $t_n < t_{KP}$, то гипотеза принимается.

На проектируемой системе провести измерения не возможно, поэтому в качестве эталонного объекта применяют концептуальную модель проектируемой системы. Тогда оценка адекватности программно-реализованной модели заключается в проверке того, насколько корректно она отражает концептуальную модель. Данная проблема сходна с проверкой корректности любой компьютерной программы, и ее можно решать соответствующими методами, например с помощью тестирования.

Для моделей, предназначенных для приблизительных расчетов, удовлетворительной считается точность 10-15 %, а для моделей, предназначенных для использования в управляющих и контролирующих системах 1-2 %.

Для повышения адекватности моделей их необходимо фальсифицировать, то есть отслеживать расхождения предсказаний модели с действительностью и вносить в модель изменения, после чего снова сравнивать предсказания, полученные на основе измененной модели с действительностью, снова вносить изменения и т. д.

Важным требованием, предъявляемым к моделям, является экономичность. Это означает, что решение задач с использованием модели должно занимать как можно меньше времени, энергии, материалов. В самом деле, какой смысл в познавательной модели атмосферных процессов, если для построения сценария (прогноза погоды) на следующий день требуются расчеты в течение двух дней?

Следующее требование – простота модели. Простота модели неизбежна из-за необходимости оперирования с ней, использования ее как рабочего инструмента, который должен быть обозрим и понятен, доступен каждому, кто будет участвовать в реализации модели. Поясним этот аспект таким банальным примером: любой документ, направляемый руководству, как показывает опыт, не должен содержать более 1,5 страниц текста – длинные документы «начальство» просто не читает: у «начальства» слишком ограниченный временный ресурс, на большие тексты у крупных руководителей просто нет времени [26]. Поэтому предпочтение должно быть отдано более простой. Упрощать модель можно до тех пор, пока сохраняются основные свойства, характеристики и закономерности, присущие оригиналу.

Под предсказательностью модели, понимают ее пригодность для получения новых знаний об объекте - оригинале. Обосновано считается, что хорошая модель содержит в себе потенциальные знания, которые человек, исследуя ее, может приобрести.

Непротиворечивость. Это требование гласит: никакой вывод из одного или нескольких основных физических законов модели не должен противоречить другим законам этой модели или выводам из них. Например: предположим, что в одной части модели используется закон сложения скоростей Галилея, а в другой части используется релятивистский закон сложения скоростей. Такая модель будет противоречивой. Она не пригодна для моделирования реальных процессов. Противоречивыми также являются и те модели, в рамках которых могут возникнуть абсурдные результаты (деление на 0, корень квадратный из минус единицы и т. д.). В частности, кинетическая энергия материальных тел должна быть неотрицательной. Требование непротиворечивости является обязательным.

Независимость. Это требование гласит: никакой закон модели не должен быть следствием других законов этой модели. Иначе говоря, все основные законы модели должны быть независимы друг от друга. Это требование еще называется требованием минимальности, поскольку оно может означать, что количество основных законов, лежащих в основе модели,

должно быть минимально. Т. е. все законы, являющиеся следствиями остальных, должны быть отброшены. Однако, требование независимости – необязательное. Часто бывает, что для работы модели проще использовать следствия из основных законов, а не сами эти законы. И в этом случае в основу модели добавляют следствия из этих законов, наиболее часто используемые.

Полнота. Это свойство означает, что модель должна описывать все свойства моделируемого объекта необходимые для описания всех основных свойств моделируемого объекта.

Ингерентность, это достаточная степень согласованности создаваемой модели со средой, чтобы создаваемая модель (в соответствии с принципом коммуникативности) была согласована со средой, в которой ей предстоит функционировать, входила бы в эту среду не как чужеродный элемент, а как естественная составная часть.

4.3. Основные этапы построение моделей.

К построению модели можно приступать на основе анализа исходных данных, которые уже известны или могут быть получены и позволяют сформулировать гипотезу о исследуемой системе, которая затем апробируется с помощью построенной модели.

Основные этапы моделирования включают; постановку задачи, построение модели, оптимизацию модели, проверку модели на достоверность (адекватность модели), анализ результатов моделирования и корректировка модели.

Первым и наиболее важным этапом построения модели, который должен обеспечить правильное решение исследуемой проблемы, является постановка задачи. Д. Пойа: «Вы должны догадаться о математической теореме прежде, чем вы ее докажете; вы должны догадаться об идее ее доказательства, прежде чем вы его проведете в деталях; доказательство открывается с помощью догадки».

Этап постановки задачи включает три основные моменты: описание задачи, определение целей моделирования, формализация задачи.

Описание задачи, как правило, делается на обычном языке, самыми общими фразами. При этом подробно описывается исследуемая система, среда и условия, в которых она находится, а также желаемый результат решения проблемы.

Особенно важным и ответственным моментом на данном этапе является постановка целей моделирования. На основании цели определяют существенные характеристики исследуемой системы, которые должны быть включены в модель, набор требований, которым должен удовлетворять желаемый результат исследования, перечень условий, ограничивающих круг допустимых средств достижения целей, перечень возможных вариантов или характеристик результата, характеристики желаемой степени достижения ожидаемого результата и оценку фактического достижения цели. В соответствии с поставленной целью определяются задачи, способы и методы их решения, а также критерии оценки и формы отображения результатов.

Формализация задачи. Формализация задачи (формализм – строгий порядок). Формализацию проводят в виде поиска ответов на вопросы, уточняющие общее описание задачи. Примером формализации системы – дипломный проект, является оглавление - это формализация его содержательных частей, а сам содержание дипломного проекта можно рассматривать как формализацию посредством языковых конструкций мыслей, в форме графа, совокупности формул, графиков, схем, таблиц, программы и так далее.

Формализация - представление и изучение какой-либо содержательной области знания (научные

теории, рассуждения, процедура поиска и т. п.) в виде формальной системы или исчисления; связана с усилением роли формальной логики и математических методов в научных исследованиях. Дифференциация наук объективно потребовала создания специализированных языков, более четких и точных, чем естественный и профессиональный язык из какой-нибудь области исследований. Поэтому, для построения моделей используются как правило, искусственные, формализованные, языки, например, в логике, математике. К искусственным языкам относятся компьютерные языки, а также чертежи, схемы и т.п.

Этап построения моделей. После правильной постановки задачи следует этап построение модели. В науке ОТС используется великое множество моделей. Наиболее распространенные типы моделей это: модель «черный ящик», модель состава системы, модель структуры системы, модель структурная схема системы, различные типы моделей математического и информационного моделирования и др.

При построении моделей объектов используется системный подход, представляющий собой методологию решения сложных задач, в основе которой лежит рассмотрение объекта как системы, функционирующей в некоторой среде. Системный подход предполагает раскрытие целостности объекта, выявление и изучение его внутренней структуры, а также связей с внешней средой. При этом объект представляется как часть реального мира, которая выделяется и исследуется в связи с решаемой задачей построения модели. Кроме этого, системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель проектирования, а объект рассматривается во взаимосвязи с окружающей средой.

Следующим шагом в построении модели является основанный на априорных данных содержательный анализ системы задача-объект и выбор класса или, точнее, способа формирования модели. Если объект не слишком сложен, достаточно изучен и комплекс подлежащих модельному исследованию свойств и характеристик объекта может быть выявлен на основе теоретических представлений и данных (дополняемых необходимым объемом эмпирической информации), целесообразно избрать аналитический путь построения модели. Часто из-за сложности, слабой изученности объекта или отсутствия соответствующих теоретических разработок этот путь не может быть реализован. Альтернативным является путь идентификации объекта, т.е. экспериментального определения существенных для решаемой задачи свойств и характеристик объекта, специально ради построения его модели. Эксперимент осуществляется в соответствии со специально разрабатываемым оптимальным планом, данные эксперимента обрабатываются и становятся основой для формализованного описания объекта в виде математической модели вход-выход.

Сложный объект может быть разделен на подсистемы, представляющие собой части объекта, удовлетворяющие следующим требованиям:

- 1) подсистема является функционально независимой частью объекта. Она связана с другими подсистемами, обменивается с ними информацией и энергией;
- 2) для каждой подсистемы могут быть определены функции или свойства, не совпадающие со свойствами всей системы;
- 3) каждая из подсистем может быть подвергнута дальнейшему делению до уровня элементов.

В данном случае под элементом понимается подсистема нижнего уровня, дальнейшее деление которой нецелесообразно с позиций решаемой задачи.

Таким образом, систему можно определить как представление объекта в виде набора подсистем, элементов и связей с целью его создания, исследования или совершенствования. При этом

укрупненное представление системы, включающее в себя основные подсистемы и связи между ними, называется макроструктурой, а детальное раскрытие внутреннего строения системы до уровня элементов – микроструктурой.

Наряду с системой обычно существует надсистема – система более высокого уровня, в состав которой входит рассматриваемый объект, причём функция любой системы может быть определена только через надсистему. Следует выделить понятие среды как совокупности объектов внешнего мира, существенно влияющих на эффективность функционирования системы, но не входящих в состав системы и ее надсистемы.

В связи с системным подходом к построению моделей используется понятие инфраструктуры, описывающей взаимосвязи системы с ее окружением (средой).

При этом выделение, описание и исследование свойств объекта, существенных в рамках конкретной задачи называется стратификацией объекта, а всякая модель объекта является его стратифицированным описанием.

Для системного подхода важным является определение структуры системы, т.е. совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие. Для этого вначале рассмотрим структурный и функциональный подходы к моделированию.

При структурном подходе выявляются состав выделенных элементов системы и связи между ними. Совокупность элементов и связей позволяет судить о структуре системы. Наиболее общим описанием структуры является топологическое описание. Оно позволяет определить составные части системы и их связи с помощью графов.

Менее общим является функциональное описание, когда рассматриваются отдельные функции, т. е. алгоритмы поведения системы. При этом реализуется функциональный подход, определяющий функции, которые выполняет система.

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

На стадии макропроектирования строится модель внешней среды, выявляются ресурсы и ограничения, выбирается модель системы и критерии для оценки адекватности.

Стадия микропроектирования в значительной степени зависит от конкретного типа выбранной модели. В общем случае предполагает создание информационного, математического, технического и программного обеспечения системы моделирования. На этой стадии устанавливаются основные технические характеристики созданной модели, оцениваются время работы с ней и затраты ресурсов для получения заданного качества модели.

Независимо от типа модели при ее построении необходимо руководствоваться рядом принципов системного подхода:

- 1) последовательное продвижение по этапам создания модели;
- 2) согласование информационных, ресурсных, и других характеристик;
- 3) правильное соотношение различных уровней построения модели;

4) целостность отдельных стадий проектирования модели.

В принципе все модели в той или иной степени являются имитацией реальности. Тем не менее, имитация обозначает процесс создания модели и ее экспериментальное применение для определения изменений реальной ситуации. Пример, специалисты по маркетингу могут создать модели для имитации ожидаемого объема сбыта в связи с изменением цен или рекламы продукции. Очень удобно использовать для имитационного моделирования информационные компьютерные модели. Для исследования систем выбор типа модели зависит от того, какую проблему решает исследователь.

Построение моделей - процедура неформальная. Она в значительной мере зависит от опыта исследователя и всегда опирается на экспериментальный материал. Модель должна правильно отражать явления, но этого мало. Она должна быть удобной для пользования. Поэтому форма представления модели и степень детализации описания процесса или явления с ее помощью зависят от целей исследования и непосредственно от исследователя.

Любая модель строится на основе некоторых теоретических принципов и реализуется определенными инструментальными средствами прикладных наук.

В теории систем широко используются специальные методы моделирования, которые применяются в прикладной информатике. К ним относятся: имитационное динамическое моделирование, использующее методы статистики и специальный язык программирования взаимодействия структурных элементов; ситуативное моделирование, использующее методы теории множеств, теории алгоритмов, математической логики (Булевой алгебры) и специальный язык анализа проблемных ситуаций; информационное моделирование, использующее математические методы теории информационного поля и теории информационных цепей.

Как правило, этап разработки модели начинается с построения информационной модели в различных знаковых формах, которые на завершающей стадии воплощаются в компьютерную модель. В информационных моделях задача приобретает вид, позволяющий принять решение о выборе программной среды и четко представить алгоритм построения компьютерной модели. Выбор наиболее существенных данных при формировании информационной модели и ее сложность определяются целью моделирования. Параметры исследования системы, определенные при формализации задачи, располагаются в порядке убывания значимости. При моделировании учитываются не все, а лишь некоторые свойства, интересующие исследователя. Если включить их слишком много, модель окажется сложна для построения и исследования. Во многих исследованиях создают несколько моделей одного объекта, начиная от простейших, с минимальным набором определяющих параметров. Затем постепенно уточняют модель, добавляя некоторые из отброшенных характеристик. Информационная модель, как правило, представляется в той или иной знаковой форме. Таблица – один из примеров знаковых моделей. Иногда полезно дополнить представление об объекте и другими знаковыми формами (схемой, чертежом, формулами), если это способствует лучшему пониманию задачи.

Универсальным инструментом для обработки информации является компьютер, но для решения любой задачи с его использованием надо изложить ее на строгом, формализованном языке.

Оптимизация модели. Сущность оптимизации моделей состоит в их упрощении при заданном уровне адекватности. Основными показателями, по которым возможна оптимизация модели, выступают время и затраты средств для проведения исследований на ней. В основе оптимизации лежит возможность преобразования моделей из одной формы в другую. Преобразование может выполняться либо с использованием математических методов, либо эвристическим путем

Следующим этапом построения модели является проверка модели на достоверность. Для этого

определяется степень соответствия модели реальной системе, а также все ли существенные компоненты реальной системы отражены в ее модели. Чем больше модель будет отражать реальный мир, тем выше будет ее потенциал, для достижения поставленных целей. Для проверки рекомендуется привлекать специалистов, которые не принимали участия в разработке модели. Они могут более объективно рассмотреть модель и заметить ее слабые стороны, чем ее разработчики. Такая предварительная проверка модели позволяет выявить ошибки. После этого приступают к реализации модели и проведению исследований. Полученные результаты моделирования подвергаются анализу на соответствие известным свойствам исследуемого объекта. Для установления соответствия создаваемой модели оригиналу используются следующие пути: сравнение результатов моделирования с отдельными экспериментальными результатами, полученными при одинаковых условиях; использование других близких моделей; сопоставление структуры и функционирования модели с прототипом.

Главным путем проверки адекватности модели исследуемому объекту выступает практика. Однако она требует накопления статистики, которая далеко не всегда бывает достаточной для получения надежных данных.

По результатам проверки модели на адекватность принимается решение о возможности ее практического использования или о проведении корректировки.

Анализ результатов моделирования. Этот этап решающий – либо вы продолжаете исследование, либо заканчиваете. Если результаты не соответствуют целям поставленной задачи, значит, на предыдущих этапах были допущены ошибки. Если такие ошибки выявлены, то требуется корректировка модели, то есть возврат к одному из предыдущих этапов. Процесс повторяется до тех пор, пока результаты эксперимента не будут отвечать целям моделирования.

Корректировка модели. При корректировке модели могут уточняться существенные параметры, ограничения на значения управляемых параметров, показатели исхода операции, связи показателей исхода операции с существенными параметрами, критерий эффективности. После внесения изменений в модель вновь выполняется оценка адекватности.

4.4. Формальные модели систем

Основой всего системного анализа является построение моделей систем. Несмотря на многообразие реальных систем, различают всего несколько принципиально различных типов моделей систем: «черный ящик», модель состава, модель структуры, структурная схема системы и их корректные комбинации. Эти модели являются формальными, они относятся к любым системам и, следовательно, ни к одной конкретно. Чтобы получить модель конкретной системы, необходимо наполнить формальную модель конкретным содержанием. Эта процедура носит неформальный характер и непосредственно зависит от исследователя, который должен определить элементный состав системы, существенные и несущественные свойства и отношения между частями системы. Рассмотрим эти формальные системы.

Модель «черный ящик». Первым наиболее простым и абстрактным уровнем описания системы является модель «черный ящик».

«Черный ящик» это система, в которой внешнему наблюдателю доступны лишь входные и выходные величины, а внутренняя структура и процессы неизвестны. Определение системы, приведенное выше, довольно абстрактно и ничего не говорит о ее внутреннем устройстве и процессах происходящих внутри системы. Тем не менее, часто бывает достаточно иметь только часть информации о системе, чтобы решить возникшие проблемы. Например, когда мы не знаем текущего точного времени, то для решения данной проблемы нам достаточно посмотреть на часы, не задумываясь при этом об их внутреннем устройстве и происходящих в них процессах.

Графически отмеченные взаимодействия системы с внешней средой представлены на рис. 4.1.

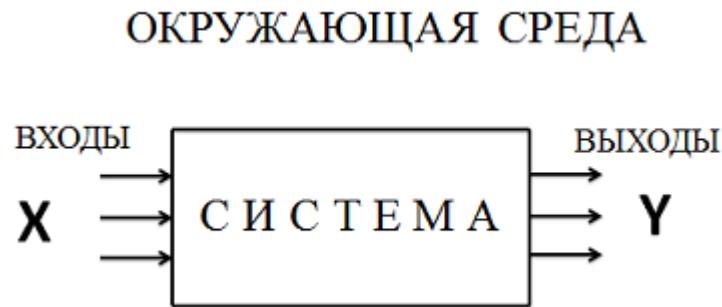


Рис. 4.1. Модель «черный ящик»

Система связана со средой и через эти связи взаимодействует со средой. Эти связи называют входами X и выходами системы Y . Ряд важных выводов о поведении системы можно сделать, наблюдая реакцию выходов на изменение входов. Например, при употреблении таблетки анальгина не обязательно знать состав самой таблетки и представлять механизм воздействия ее компонентов на организм, а важно то, что при этом проходит головная боль. Другими словами, важно определить, что нужно на входе в систему и что должно быть на выходе из нее, и неважно – что находится внутри системы. Поэтому приведенную модель часто называют моделью «черного ящика».

Понятие «черный ящик» было предложено английским ученым У. Р. Эшби, который предложив «черный ящик», как понятие в кибернетике. В кибернетике оно позволяет изучать поведение систем, т. е. их реакций на разнообразные внешние воздействия, и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства. Таким образом, система изучается не как совокупность взаимосвязанных элементов, а как нечто целое, взаимодействующее со средой на своих входах и выходах. Метод «черного ящика» применим в различных ситуациях. Этот способ используется при недоступности внутренних процессов системы для исследования. Например, изучение деятельности новых лекарственных средств. Метод «черного ящика» используется при исследовании систем, все элементы и связи которых в принципе доступны, но либо многочисленны и сложны, что приводит к огромным затратам времени и средств, при непосредственном изучении, либо такое изучение недопустимо по каким-либо соображениям. Примерами могут служить проверка на готовность к эксплуатации автоматической телефонной станции, которая проводится путем «прозванивания», а не непосредственно проверкой всех блоков, схем и т.д. Исследования модели «черный ящик» проводятся путем постепенного изготовления длинного протокола, составленного в хронологическом порядке и показывающего последовательность состояния «входа» и «выхода». В результате такого протокола мы знаем, какими «входами» экспериментатор манипулирует и что происходит при этом на «выходе». В процессе изучения наблюдатель и «черный ящик» образуют систему с обратной связью, а первичные результаты исследования – множество пар состояний входа и выхода, анализ которых позволяет установить между ними причинно-следственную связь. В настоящее время известны два вида «черных ящиков». К первому виду относят любой «черный ящик», который может рассматриваться как автомат, называемый конечным или бесконечным. Поведение таких «черных ящиков» известно. Ко второму виду относятся такие «черные ящики», поведение которых может быть наблюдаемо только в эксперименте. В таком случае в явной или неявной форме высказывается гипотеза о предсказуемости поведения «черного ящика» в вероятностном смысле. Без предварительной гипотезы невозможно любое обобщение или, как говорят, невозможно сделать индуктивное заключение на основе экспериментов с «черным ящиком».

Модель «черный ящик» позволяет только изучать систему по ее входам и выходам, но подобное изучение не позволяет получить полного представления о внутреннем устройстве системы, поскольку одним и тем же поведением могут обладать различные системы.

Построение модели «черный ящик» не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, ответ не прост и не всегда однозначен. Проблема построения модели типа «черный ящик» заключается в правильном определении цели исследуемой системы. Цель – это субъективный образ (абстрактная модель) несуществующего, но желаемого состояния системы, которое решило бы возникшую проблему. Вся последующая деятельность, способствующая решению этой проблемы, направлена на достижение поставленной цели. Трудности построения данной модели заключаются в большом количестве входов и выходов. Главной причиной множественности входов и выходов в модели «черного ящика» является то, что всякая реальная система, взаимодействует с окружающей средой неограниченным числом способов. Строя модель системы, мы из этого бесчисленного множества связей отбираем конечное их число для включения в список входов и выходов. Критерием отбора при этом является целевое назначение модели, существенность той или иной связи по отношению к этой цели. То, что существенно, важно – включается в модель, то, что несущественно, неважно не включается. Именно здесь возможны ошибки. Тот факт, что мы не учитываем в модели, исключаем из рассмотрения остальные связи, что не лишает их реальности, они все равно действуют независимо от нас.

Простота модели «черный ящик» обманчива, так как существует опасность:

1. Неполноты охвата входов и выходов.
2. Описания действия системы на базе статистики.
3. Изменения внутреннего механизма функционирования системы с течением времени.

Модель «черный ящик» обычно используется в случае:

- а) когда нет возможности вмешательства в систему;
- б) когда нужно получить данные о системе в обычной для нее обстановке, для уменьшения взаимодействия измерений на саму систему;
- в) когда отсутствуют данные о внутреннем устройстве системы.

Модель состава. При рассмотрении любой системы обнаруживается, что ее целостность и обособленность, отображенные в модели черного ящика, выступают как внешние свойства. Внутренность же "ящика" оказывается неоднородной, что позволяет различать составные части самой системы. При более детальном рассмотрении некоторые части системы могут быть, в свою очередь, разбиты на составные части и т. д. Те части системы, которые мы рассматриваем как неделимые, называются элементами. Части системы, состоящие более чем из одного элемента, называют подсистемами. Модель состава описывает, из каких подсистем и элементов состоит исследуемый объект. Состав системы определяется в зависимости от: уровня и глубины знаний о системе, назначения модели и ее целей, определения элемента системы, правил построения подсистем.

Модель состава ограничивается снизу тем, что считается элементом, а сверху – границей системы. Границы определяются целями построения модели. Графическая модель модели

состава системы представлена на рис. 4.2.

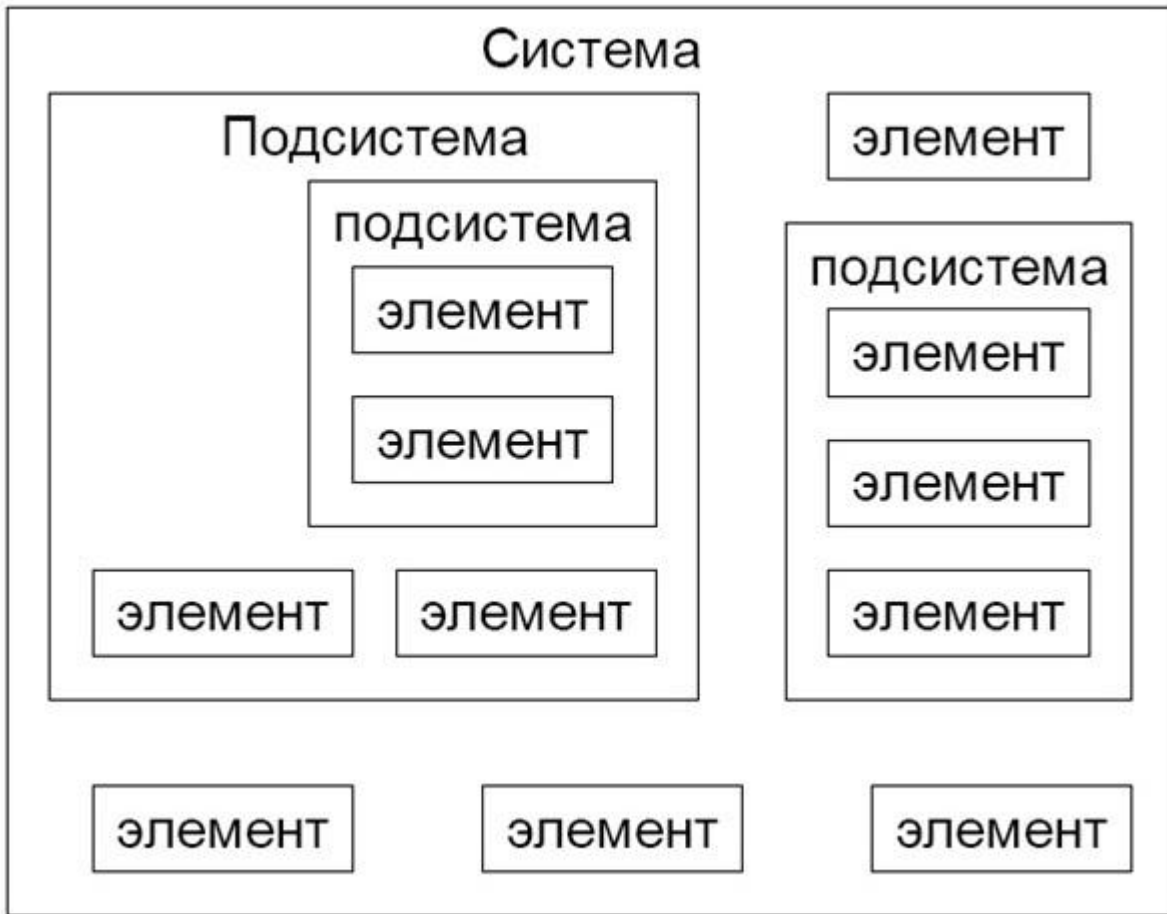


Рис. 4.2. Модель состава

Сложности построения модели заключаются в следующем:

- во-первых, разные модели состава получаются вследствие того, что понятие элементарности можно определить по-разному. То, что с одной точки зрения кажется элементом, с другой, оказывается подсистемой, подлежащей дальнейшему разделению.

- во-вторых, как и любые модели, модель состава является целевой, и для различных целей один и тот же объект потребуется разбить на разные части. Например, модель состава самолета с точек зрения летчика, стюардессы, пассажира и аэродромного диспетчера окажутся различными. То, что для одного обязательно войдет в модель, может совершенно не интересовать другого.

- в-третьих, модели состава различаются потому, что всякое разделение целого на части, всякое деление системы на подсистемы является относительным, в определенной степени условным. Например, тормозную систему автомобиля можно отнести к ходовой части, либо к подсистеме управления. Другими словами границы между подсистемами условны, относительны.

Основная трудность в построении модели состава системы заключается в том, что разделение целостной системы на части, является относительным, т.е. границы между подсистемами условны. Относительны и границы между системой и окружающей средой. При удалении из системы, какой-то ее части система теряет эмерджентное свойство (становится другой системой). Часть, изъятая из системы, тоже теряет свойства, которые проявлялись в результате ее взаимодействия с другими частями. Следовательно, система не просто совокупность элементов,

и, изучая каждый из них в отдельности, невозможно познать все свойства системы в целом.

Главная задача в построении модели состава заключается в том, что бы правильно согласно определению и назначению системы определить цель системы. Разделение целостной системы на части полностью зависит от целей системы (это относится и к границам между частями системы и к границам самой системы). Простейшими моделями состава являются всевозможные классификаторы и неупорядоченные перечни составных частей какой-либо системы, оглавление книги и т.д.

Модель структуры. Для решения ряда проблем достаточно модели "черного ящика" или модели состава, однако есть проблемы, решить, которые с помощью этих двух видов моделей нельзя. Так, например, чтобы был компьютер, недостаточно иметь набор блоков и элементов, из которых состоит компьютер. Необходимо еще правильно их соединить между собой, установить между элементами определенные связи — отношения. Перечень связей между элементами является отвлеченной, абстрактной моделью: установлены только отношения между элементами, но не рассмотрены сами элементы. Хотя на практике безотносительно к элементам говорить о связях можно лишь после того, как отдельно рассмотрены сами элементы (т.е. рассмотрена модель состава), теоретически модель структуры можно изучать отдельно.

Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется модель структуры. Как следует из определения, в большей степени речь идет о связях между составными частями системы. Очевидно, что о связях между элементами системы можно говорить только после того, как определена модель состава системы, т. е. после того, как рассмотрены сами элементы. Между реальными частями любой системы имеется невообразимое (может быть, бесконечное) количество отношений в силу бесконечности самой природы. Однако, когда мы рассматриваем некоторую совокупность объектов (частей) как систему, то из всех отношений важными, т. е. существенными, для достижения цели являются только некоторые из них. Точнее, в модель структуры (т.е. в список отношений) мы включаем только конечное число связей, которые, по нашему мнению, существенны по отношению к рассматриваемой цели. Таким образом, построение модели структуры заключается составлении списка, в которой вносятся попарно взаимосвязанные элементы с указанием структурных связей между ними. Модель структуры системы отображает связи между компонентами модели ее состава, т.е. совокупность связанных между собой моделей "черного ящика" для каждой из частей системы. Поэтому трудности построения модели структуры те же, что и для построения модели "черного ящика".

Модель структурная схема системы. Модели "черного ящика", состава и структуры образуют еще одну модель, которая называется «структурной схемой системы»; в литературе встречаются также термины "белый ящик", "прозрачный ящик", подчеркивающие ее отличие от модели "черного ящика", а также термин "конструкция системы", который мы будем использовать для обозначения материальной реализации структурной схемы системы. Перед моделированием внутренней структуры, то есть перед тем как набрать и связать друг с другом компоненты, необходимо определить и понять, зачем эти компоненты нужны (чтобы не включать лишних компонентов и связей между ними). Поэтому, вначале должны быть прописаны функции компонентов, затем прописывается последовательность функций компонентов, необходимая для проявления интегративного свойства системы. В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы), которые необходимы для выполнения поставленной цели и формирования интегративного свойства системы. Наглядно модель «Структурная схема компьютер» представлена на рис. 4. 3.

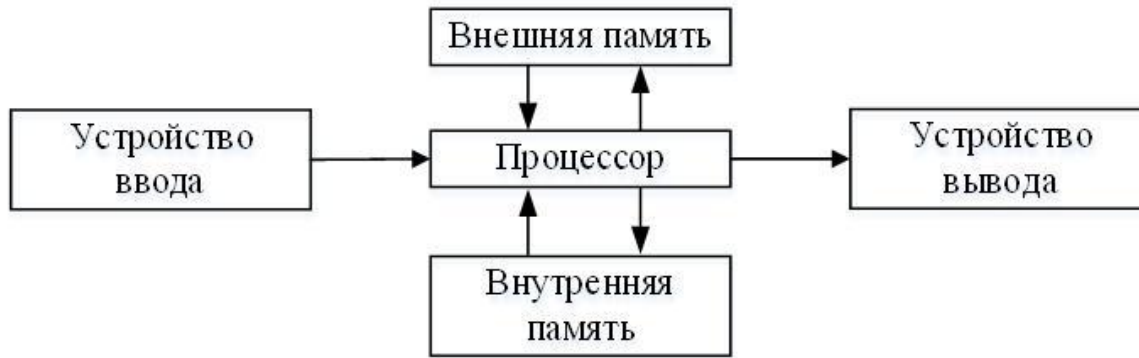
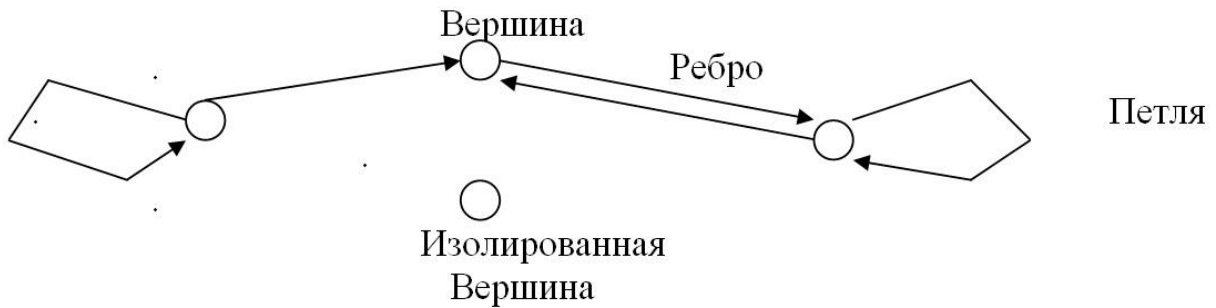


Рис. 4.3. «Структурная сема компьютер»

Стрелками обозначают информационные связи между компонентами системы. Направление стрелок указывает на направление передачи информации. Смысл схемы заключается в том, что процессор управляет работой всех остальных устройств компьютера.

Все структурные схемы имеют нечто общее, и это побудило математиков рассматривать их как особый объект математических исследований. Для этого пришлось абстрагироваться от содержательной стороны структурных схем, оставив в рассматриваемой модели только общее для каждой схемы. В результате получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними, а также (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется графом.

Следовательно, граф состоит из обозначений элементов произвольной природы, называемых вершинами, и обозначений связей между ними, называемых ребрами (иногда дугами). На рис. 4.4 изображен граф: вершины обозначены в виде кружков, ребра — в виде линий.



Пример построения графа

Рис. 4.4. Пример графа

Часто бывает необходимо отразить несимметричность некоторых связей; в таких случаях линию, изображающую ребро, снабжают стрелкой (в таком случае ребро становится дугой). Если направления связей не обозначаются, то граф называется неориентированным, при наличии стрелок — ориентированным (полностью или частично). Данная пара вершин может быть соединена любым количеством ребер; вершина может быть соединена сама с собой (тогда ребро называется петлей). Если в графе требуется отразить другие различия между элементами или связями, то либо приписывают разным ребрам различные веса (взвешенные графы), либо раскрашивают вершины или ребра (раскрашенные графы).

Оказалось, что для графов может быть построена интересная и содержательная теория, имеющая многочисленные приложения. Разнообразные задачи этой теории связаны с различными преобразованиями графов, а также с возможностью рассмотрения различных отношений в графах: весов, рангов, цветов, вероятностных характеристик (стохастические графы) и т.д. В связи с тем, что множества вершин и ребер формально можно поменять местами, получается два разных представления системы в виде вершинного или в виде реберного графа. Оказывается, что в одних задачах удобнее использовать вершинный, а в других — реберный граф.

Графы могут изображать любые структуры, если не накладывать ограничений на пересекаемость ребер. Некоторые типы структур имеют особенности, важные для практики, они выделены из других и получили специальные названия. Так, в организационных системах часто встречаются линейные, древовидные (иерархические) и матричные структуры, сетевые структур и другие.

4.5. Формальное определение математической модели

Любая математическая модель, предназначенная для исследования систем, позволяет по заданным исходным данным найти значения интересующих исследователя параметров моделируемой системы, т. е. суть модели заключается отображении некоторого заданного множества Ω_X допустимых входных параметров X на множество значений Ω_Y допустимых выходных параметров Y , тогда математическая модель есть некоторый математический оператор A , т.е.

$$A : X \rightarrow Y, X \in \Omega_X, Y \in \Omega_Y$$

В зависимости от природы моделируемого объекта элементами множеств Ω_X и Ω_Y могут быть: числа, векторы, функции, функционалы, множества и др.

Контрольные вопросы

1. Что такое модель и моделирование?
2. Назовите основные требования к моделям.
3. Что представляет модель «черный ящик»?
4. Какие системы обычно исследуются с помощью модели «черный ящик»?
5. Приведите пример модели «черного ящика».
6. Что является причиной множественности входов и выходов в модели «черного ящика»?
7. Что представляет собой модель состава? Приведите пример модели состава.
8. Что представляет собой модель структуры? Приведите пример.
9. Что представляет собой граф?