

# Системный анализ Сложных систем управления


Конспект лекций

# Введение

- Конечной целью системного анализа является разрешение проблемной ситуации, возникшей перед объектом проводимого системного исследования (обычно это конкретная организация, коллектив, предприятие, отдельный регион, социальная структура и т.п.). Системный анализ занимается изучением проблемной ситуации, выяснением ее причин, выработкой вариантов ее устранения, принятием решения и организацией дальнейшего функционирования системы, разрешающего проблемную ситуацию. Начальным этапом любого системного исследования является изучение объекта проводимого системного анализа с последующей его формализацией. На этом этапе возникают задачи, в корне отличающие методологию системных исследований от методологии других дисциплин, а именно, в системном анализе решается двуединая задача.
- С одной стороны, необходимо формализовать объект системного исследования, с другой стороны, формализации подлежит процесс исследования системы, процесс постановки и решения проблемы.

- Приведем пример из теории проектирования систем. Современная теория автоматизированного проектирования сложных систем может рассматриваться как одна из частей системных исследований. Согласно ей проблема проектирования сложных систем имеет два аспекта.
- Во-первых, требуется осуществить формализованное описание объекта проектирования. Причем на этом этапе решаются задачи формализованного описания как статической составляющей системы (в основном формализации подлежит ее структурная организация), так и ее поведение во времени (динамические аспекты, которые отражают ее функционирование).
- Во-вторых, требуется формализовать процесс проектирования. Составными частями процесса проектирования являются методы формирования различных проектных решений, методы их инженерного анализа и методы принятия решений по выбору наилучших вариантов реализации системы.

- Важное место в процедурах системного анализа занимает проблема принятия решения. В качестве особенности задач, встающих перед системными аналитиками, необходимо отметить требование оптимальности принимаемых решений.
- В настоящее время приходится решать задачи оптимального управления сложными системами, оптимального проектирования систем, включающих в себя большое количество элементов и подсистем.
- Развитие техники достигло такого уровня, при котором создание просто работоспособной конструкции само по себе уже не всегда удовлетворяет ведущие отрасли промышленности. Необходимо в ходе проектирования обеспечить наилучшие показатели по ряду характеристик новых изделий, например, добиться максимального быстродействия, минимальных габаритов, стоимости и т.п. при сохранении всех остальных требований в заданных пределах.



■ Таким образом, практика предъявляет требования разработки не просто работоспособного изделия, объекта, системы, а создания оптимального проекта. Аналогичные рассуждения справедливы и для других видов деятельности.

■ Системным анализом называется логически связанная совокупность теоретических и эмпирических положений из области математики, естественных наук и опыта разработки сложных систем, обеспечивающая повышение обоснованности решения конкретной проблемы.

■ Дальнейшее изучение дисциплины будет сопровождаться примерами касательно Информационных систем (ИС).

# Основные понятия системного анализа

В состав задач системного анализа в процессе создания ИС входят задачи декомпозиции, анализа и синтеза.

- *Задача декомпозиции* означает представление системы в виде подсистем, состоящих из более мелких элементов. Часто задачу декомпозиции рассматривают как составную часть анализа.
- *Задача анализа* состоит в нахождении различного рода свойств системы или среды, окружающей систему. Целью анализа может быть определение закона преобразования информации, задающего поведение системы. В последнем случае речь идет об *агрегации* (композиции) системы в один-единственный элемент.
- *Задача синтеза* системы противоположна задаче анализа. Необходимо по описанию закона преобразования построить систему, фактически выполняющую это преобразование по определенному алгоритму. При этом должен быть предварительно определен класс элементов, из которых строится искомая система, реализующая алгоритм функционирования.

## ■ КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

■ Системы принято подразделять на физические и абстрактные, динамические и статические, простые и сложные, естественные и искусственные, с управлением и без управления, непрерывные и дискретные, детерминированные и стохастические, открытые и замкнутые.

■ Деление систем на *физические и абстрактные* позволяет различать реальные системы (объекты, явления, процессы) и системы, являющиеся определенными отображениями (моделями) реальных объектов.

■ Для реальной системы может быть построено множество систем - моделей, различаемых по цели моделирования, по требуемой степени детализации и по другим признакам.

■ Например, реальная ЛВС, с точки зрения системного администратора, - совокупность программного, математического, информационного, лингвистического, технического и других видов обеспечения, с точки зрения противника, - совокупность объектов, подлежащих разведке, подавлению (блокированию), уничтожению, с точки зрения технического обслуживания, - совокупность исправных и неисправных средств.

- Деление систем на *простые и сложные (большие)* подчеркивает, что в системном анализе рассматриваются не любые, а именно сложные системы большого масштаба. При этом выделяют структурную и функциональную (вычислительную) сложность.
- Общепризнанной границы, разделяющей простые, большие и сложные системы, нет. Однако условно будем считать, что сложные системы характеризуются тремя основными признаками: свойством робастности, наличием неоднородных связей и эмерджентностью.
- Во-первых, сложные системы обладают свойством *робастности* - способностью сохранять частичную работоспособность (эффективность) при отказе отдельных элементов или подсистем.
- Оно объясняется функциональной избыточностью сложной системы и проявляется в изменении степени деградации выполняемых функций, зависящей от глубины возмущающих воздействий.
- Простая система может находиться не более чем в двух состояниях: полной работоспособности (исправном) и полного отказа (неисправном).



- Во-вторых, в составе сложных систем кроме значительного количества элементов присутствуют многочисленные *и разные по типу (неоднородные) связи* между элементами. Основными типами считаются следующие виды связей: структурные (в том числе иерархические), функциональные, каузальные (причинно-следственные, отношения истинности), информационные, пространственно-временные. По этому признаку будем отличать сложные системы от больших систем, представляющих совокупность однородных элементов, объединенных связью одного типа.
- В-третьих, сложные системы обладают свойством, которое отсутствует у любой из составляющих ее частей. Это интегративность (целостность), или *эмерджентность*. Другими словами, отдельное рассмотрение каждого элемента не дает полного представления о сложной системе в целом. Эмерджентность может достигаться за счет обратных связей, играющих важнейшую роль в управлении сложной системой.
- Считается, что структурная сложность системы должна быть пропорциональна объему информации, необходимой для ее описания (снятия неопределенности).

- Сложные системы допустимо делить на *искусственные* и *естественные* (природные).
- Искусственные системы, как правило, отличаются от природных наличием определенных целей функционирования (назначением) и наличием управления.
- Рассмотрим еще один важный признак классификации систем.
- Принято считать, что система с управлением, имеющая нетривиальный входной сигнал  $x\{t\}$  и выходной сигнал  $y\{t\}$ , может рассматриваться как преобразователь информации, перерабатывающий поток информации (исходные данные)  $x\{t\}$  в поток информации (решение по управлению)  $y(t)$ .
- В соответствии с типом значений  $x\{t\}$ ,  $y\{t\}$  и  $t$  системы делятся на непрерывные (системы с непрерывной переменной) и дискретные (Изменения состояния этих систем происходят не непрерывно, а в дискретные моменты времени, по принципу «от события к событию»).
- Такое деление проводится в целях выбора математического аппарата моделирования.

- Системы с нетривиальным входным сигналом  $x(t)$ , источником которого нельзя управлять (непосредственно наблюдать), или системы, в которых неоднозначность их реакции нельзя объяснить разницей в состояниях, называются *открытыми*.
- Признаком, по которому можно определить открытую систему, служит наличие взаимодействия с внешней средой. Взаимодействие порождает проблему «предсказуемости» значений выходных сигналов и, как следствие, - трудности описания открытых систем.
- **Детерминированная система** - система, состояния выходов которой однозначно определяются оказанными на нее управляющими воздействиями.
- Вероятностная или стохастическая система – это система, поведение которой описывается законами теории вероятностей.

# Основные определения системного анализа

- *Элемент* - некоторый объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом важных свойств и реализующий в системе определенный закон функционирования, внутренняя структура которого не рассматривается. Иными словами, элемент - это неделимая наименьшая функциональная часть исследуемой системы.
- *Подсистема* - часть системы, выделенная по определенному признаку, обладающая некоторой самостоятельностью и допускающая разложение на элементы в рамках данного рассмотрения.
- Система может быть разделена на элементы не сразу, а последовательным расчленением на подсистемы - совокупности элементов.
- Такое расчленение, как правило, производится на основе определения независимой функции, выполняемой данной совокупностью элементов совместно для достижения некой частной цели, обеспечивающей достижение общей цели системы. Подсистема отличается от простой группы элементов, для которой не выполняется условие целостности.

- Последовательное разбиение системы в глубину приводит к иерархии подсистем, нижним уровнем которых является элемент.
- *Характеристика* -то, что отражает некоторое свойство элемента системы. Характеристики делятся на количественные и качественные в зависимости от типа отношений на множестве их значений.
- Если на множестве значений заданы метризованные отношения, когда указывается не только факт выполнения отношения, но также и степень количественного превосходства, то характеристика является *количественной*.
- Если пространство значений не метрическое, то характеристика называется *качественной*.
- Количественная характеристика называется *параметром*.
- Характеристики элемента являются зависимыми переменными и отражают свойства элемента.

- Под *свойством* понимают сторону объекта, обуславливающую его отличие от других объектов или сходство с ними и проявляющуюся при взаимодействии с другими объектами.
- Свойства задаются с использованием отношений одного из основных математических понятий, используемых при анализе и обработке информации. На языке отношений единым образом можно описать воздействия, свойства объектов и связи между ними, задаваемые различными признаками. Существует несколько форм представления отношений: функциональная (в виде функции, функционала, оператора), матричная, табличная, логическая, графовая, представление сечениями, алгоритмическая (в виде словесного правила соответствия).
- Свойства классифицируют на *внешние*, проявляющиеся в форме выходных характеристик только при взаимодействии с внешними объектами, и *внутренние*, проявляющиеся в форме переменных состояния при взаимодействии с внутренними элементами рассматриваемой системы и являющиеся причиной внешних свойств.
- Одна из основных целей системного анализа - выявление внутренних свойств системы, определяющих ее поведение.

- По структуре свойства делят на простые и сложные (интегральные).
- Внешние простые свойства доступны непосредственному наблюдению, внутренние свойства конструируются в нашем сознании логически и не доступны наблюдению.
- Следует помнить о том, что свойства проявляются только при взаимодействии с другими объектами или элементами одного объекта между собой.
- Формально свойства могут быть представлены также и в виде закона функционирования элемента.
- *Законом функционирования*, описывающим процесс функционирования элемента системы во времени, называется зависимость оператор *которой* преобразует независимые переменные в зависимые и отражает *поведение элемента* (системы) во времени – процесс изменения состояния элемента (системы), оцениваемый по степени достижения цели его функционирования.
- Понятие поведения принято относить только к целенаправленным системам и оценивать по показателям.

- *Цель* - ситуация или область ситуаций, которая должна быть достигнута при функционировании системы за определенный промежуток времени.
- Цель может задаваться требованиями к показателям результативности, ресурсоемкости, оперативности функционирования системы либо к траектории достижения заданного результата. Как правило, цель для системы определяется старшей системой, а именно той, в которой рассматриваемая система является элементом.
- *Показатель* - характеристика, отражающая качество системы или целевую направленность процесса (операции), реализуемого системой.
- Вид отношений между элементами, который проявляется как некоторый обмен (взаимодействие), называется *связью*. Как правило, в исследованиях выделяются внутренние и внешние связи.
- Внешние связи системы - это ее связи со средой. Они проявляются в виде характерных свойств системы. Определение внешних связей позволяет отделить систему от окружающего мира и является необходимым начальным этапом исследования.



- В ряде случаев считается достаточным исследование всей системы ограничить установлением ее закона функционирования.
- Однако в задачах анализа обычно требуется выяснить, какими внутренними связями обуславливаются интересующие исследователя свойства системы. Поэтому основным содержанием системного анализа является определение структурных, функциональных, каузальных, информационных и пространственно-временных внутренних связей системы.
- Структурные связи обычно подразделяют на иерархические, сетевые, древовидные и задают в графовой или матричной форме.
- Функциональные и пространственно-временные связи задают как функции, функционалы и операторы.
- Каузальные (причинно-следственные) связи описывают на языке формальной логики. Для описания информационных связей разрабатываются инфологические модели.
- Выделение связей разных видов наряду с выделением элементов является существенным этапом системного анализа и позволяет судить о сложности рассматриваемой системы.

- Важным для описания и исследования систем является *понятие алгоритм функционирования*, под которым понимается метод получения выходных характеристик с учетом входных воздействий, управляющих воздействий и воздействий внешней среды.
- По сути, алгоритм функционирования раскрывает механизм проявления внутренних свойств системы, определяющих ее поведение в соответствии с законом функционирования. Один и тот же закон функционирования элемента системы может быть реализован различными способами, т. е. с помощью множества различных алгоритмов функционирования.
- Наличие выбора алгоритмов приводит к тому, что системы с одним и тем же законом функционирования обладают разным качеством и эффективностью процесса функционирования.
- *Качество* - совокупность существенных свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению.
- Оценка качества может производиться по одному интегральному свойству, выражаемому через обобщенный показатель качества системы.

- *Процессом* называется совокупность состояний системы, упорядоченных по изменению какого-либо параметра, определяющего свойства системы.
- Формально процесс функционирования как последовательная смена состояний интерпретируется как координаты точки в  $n$ -мерном фазовом пространстве. При этом каждой реализации процесса будет соответствовать некоторая фазовая траектория.
- Совокупность всех возможных значений состояний называется пространством состояний системы.
- *Эффективность процесса* - степень его приспособленности к достижению цели.
- Принято различать эффективность процесса, реализуемого системой, и качество системы. Эффективность проявляется только при функционировании и зависит от свойств самой системы, способа ее применения и от воздействий внешней среды.
- *Критерий эффективности* - обобщенный показатель и правило выбора лучшей системы (лучшего решения). Например,  $Y = \max \{Y_i\}$ .

- Если решение выбирается по качественным характеристикам, то критерий называется решающим правилом.
- Описание закона функционирования системы наряду с аналитическим, графическим, табличным и другими способами в ряде случаев может быть получено через состояние системы.
- *Состояние системы* - это множество значений характеристик системы в данный момент времени.
- *Структура* - совокупность образующих систему элементов и связей между ними. В структуре системы существенную роль играют связи. Так, изменяя связи при сохранении элементов, можно получить другую систему, обладающую новыми свойствами или реализующую другой закон функционирования.
- Необходимость одновременного и взаимоувязанного рассмотрения состояний системы и среды требует определения понятий «ситуация» и «проблема».
- *Ситуация* - совокупность состояний системы и среды в один и тот же момент времени.
- *Проблема* - несоответствие между существующим и требуемым (целевым) состоянием системы при данном состоянии среды в рассматриваемый момент времени.

## ■ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

■ Под *моделированием* понимается процесс исследования реальной системы, включающий построение модели, изучение ее свойств и перенос полученных сведений на моделируемую систему.

■ Общими функциями моделирования являются описание, объяснение и прогнозирование поведения реальной системы.

■ Типовыми целями моделирования могут быть поиск оптимальных или близких к оптимальным решений, оценка эффективности решений, определение свойств системы (чувствительности к изменению значений характеристик и др.), установление взаимосвязей между характеристиками системы, перенос информации во времени.

■ *Модель* – это объект, который имеет сходство в некоторых отношениях с прототипом и служит средством описания и/или объяснения, и/или прогнозирования поведения прототипа.

■ Сложные системы характеризуются выполняемыми процессами (функциями), структурой и поведением во времени.

- Для адекватного моделирования этих аспектов в автоматизированных информационных системах различают функциональные, информационные и поведенческие модели, пересекающиеся друг с другом.
- *Функциональная* модель системы описывает совокупность выполняемых системой функций, характеризует морфологию системы (ее построение) - состав функциональных подсистем, их взаимосвязи.
- *Информационная* модель отражает отношения между элементами системы в виде структур данных (состав и взаимосвязи).
- *Поведенческая (событийная)* модель описывает информационные процессы (динамику функционирования), в ней фигурируют такие категории, как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условия перехода, последовательность событий.

# ■ КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

■ Классификация видов моделирования может быть проведена по разным основаниям. Один из вариантов классификации приведен на рис. 1

■ В соответствии с классификационным признаком полноты моделирование делится на полное, неполное и 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.

■ *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.





Рис. 1.7. Классификация видов моделирования



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. Для представления функциональных, информационных и событийных моделей этого вида моделирования разработано значительное количество средств и методов.
- 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 *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.
- 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.
- *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.
- *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.
- *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.

■ *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.

■ При *реальном* моделировании используется возможность исследования характеристик либо на реальном объекте целиком, либо на его части.

■ *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.



- **Принципы и подходы к построению математических моделей**
- Принципы определяют те общие требования, которым должна удовлетворять правильно построенная модель. Рассмотрим эти принципы.
- 1. *Адекватность*. Этот принцип предусматривает соответствие модели целям исследования по уровню сложности и организации, а также соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств. До тех пор, пока не решен вопрос, правильно ли отображает модель исследуемую систему, ценность модели незначительна.
- 2. *Соответствие модели решаемой задаче*. Модель должна строиться для решения определенного класса задач или конкретной задачи исследования системы. Попытки создания универсальной модели, нацеленной на решение большого числа разнообразных задач, приводят к такому усложнению, что она оказывается практически непригодной. Этот принцип связан с принципом адекватности.
- 3. *Упрощение при сохранении существенных свойств системы*. Модель должна быть в некоторых отношениях проще прототипа - в этом смысл моделирования.

■ Чем сложнее рассматриваемая система, тем по возможности более упрощенным должно быть ее описание, умышленно утрирующее типичные и игнорирующее менее существенные свойства. Этот принцип может быть назван принципом абстрагирования от второстепенных деталей.

■ 4. *Соответствие между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели.* Модели по своей природе всегда носят приближенный характер. Возникает вопрос, каким должно быть это приближение. С одной стороны, чтобы отразить все сколько-нибудь существенные свойства, модель необходимо детализировать. С другой стороны, строить модель, приближающуюся по сложности к реальной системе, очевидно, не имеет смысла. Она не должна быть настолько сложной, чтобы нахождение решения оказалось слишком затруднительным.

■ 5. *Баланс погрешностей различных видов.* В соответствии с принципом баланса необходимо добиваться, например, баланса систематической погрешности моделирования за счет отклонения модели от оригинала и погрешности исходных данных, точности отдельных элементов модели, систематической погрешности моделирования и случайной погрешности при интерпретации и осреднении результатов.



■ 6. *Многовариантность реализаций элементов модели.*

Разнообразие реализаций одного и того же элемента, отличающихся по точности (а следовательно, и по сложности), обеспечивает регулирование соотношения «точность/сложность».

■ 7. *Блочное строение.* При соблюдении принципа блочного строения облегчается разработка сложных моделей и появляется возможность использования накопленного опыта и готовых блоков с минимальными связями между ними. Выделение блоков производится с учетом разделения модели по этапам и режимам функционирования системы.

## ■ Этапы построения математической модели


■ Сущность построения математической модели состоит в том, что реальная система упрощается, схематизируется и описывается с помощью того или иного математического аппарата. Можно выделить следующие основные этапы построения моделей.

■ 1. *Содержательное описание моделируемого объекта.* Объекты моделирования описываются с позиций системного подхода.

■ Исходя из цели исследования устанавливаются совокупность элементов, взаимосвязи между элементами, возможные состояния каждого элемента, существенные характеристики состояний и соотношения между ними.

■ 2. *Формализация операций.* На основе содержательного описания определяется исходное множество характеристик системы. Для выделения существенных характеристик необходим хотя бы приближенный анализ каждой из них. При проведении анализа опираются на постановку задачи и понимание природы исследуемой системы. После исключения несущественных характеристик выделяют управляемые и неуправляемые параметры и производят символизацию. Затем определяется система ограничений на значения управляемых параметров. Если ограничения не носят принципиальный характер, то ими пренебрегают.

- 3. *Проверка адекватности модели.* Требование адекватности
- находится в противоречии с требованием простоты, и это нужно
- учитывать при проверке модели на адекватность. Исходный вариант
- модели предварительно проверяется по следующим основным
- аспектам:
  - • Все ли существенные параметры включены в модель?
  - • Нет ли в модели несущественных параметров?
  - • Правильно ли отражены функциональные связи между
  - параметрами?
  - • Правильно ли определены ограничения на значения
  - параметров?
- 4. *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.



■ 5. *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.

## ■ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА



■ Принципы системного анализа - это некоторые положения общего характера, являющиеся обобщением опыта работы человека со сложными системами. Различные авторы излагают принципы с определенными отличиями, поскольку общепринятых формулировок на настоящее время нет. Однако так или иначе все формулировки описывают одни и те же понятия.

■ Наиболее часто к системным причисляют следующие принципы: принцип конечной цели, принцип измерения, принцип эквивиальности, принцип единства, принцип связности, принцип модульного построения, принцип иерархии, принцип функциональности, принцип развития (историчности, открытости), принцип децентрализации, принцип неопределенности.

■ *Принцип конечной цели.* Это абсолютный приоритет конечной (глобальной) цели.

- *Принцип измерения.* О качестве функционирования какой-либо системы можно судить только применительно к системе более высокого порядка. Другими словами, для определения эффективности функционирования системы надо представить ее как часть более общей и проводить оценку внешних свойств исследуемой системы относительно целей и задач суперсистемы.
- *Принцип эквифинальности.* Система может достигнуть требуемого конечного состояния, не зависящего от времени и определяемого исключительно собственными характеристиками системы при различных начальных условиях и различными путями. Это форма устойчивости по отношению к начальным и граничным условиям.
- *Принцип единства.* Это совместное рассмотрение системы как целого и как совокупности частей (элементов). Принцип ориентирован на «взгляд внутрь» системы, на расчленение ее с сохранением целостных представлений о системе.
- *Принцип связности.* Рассмотрение любой части совместно с ее окружением подразумевает проведение процедуры выявления связей между элементами системы и выявление связей с внешней средой (учет внешней среды).

- В соответствии с этим принципом систему в первую очередь следует рассматривать как часть (элемент, подсистему) другой системы, называемой суперсистемой или старшей системой.
- *Принцип модульного построения.* Полезно выделение модулей в системе и рассмотрение ее как совокупности модулей. Принцип указывает на возможность вместо части системы исследовать совокупность ее входных и выходных воздействий (абстрагирование от излишней детализации).
- *Принцип иерархии.* Полезно введение иерархии частей и их ранжирование, что упрощает разработку системы и устанавливает порядок рассмотрения частей.
- *Принцип функциональности.* Это совместное рассмотрение структуры и функции с приоритетом функции над структурой. Принцип утверждает, что любая структура тесно связана с функцией системы и ее частей. В случае придания системе новых функций полезно пересматривать ее структуру, а не пытаться втиснуть новую функцию в старую схему.
- *Принцип развития.* Это учет изменчивости системы, ее способности к развитию, адаптации, расширению, замене частей, накапливанию информации. В основу синтезируемой системы требуется закладывать возможность развития, наращивания, усовершенствования.

- 
- 
- *Принцип децентрализации.* Это сочетание в сложных системах централизованного и децентрализованного управления, которое, как правило, заключается в том, что степень централизации должна быть минимальной, обеспечивающей выполнение поставленной цели.
  - *Принцип неопределенности.* Это учет неопределенностей и случайностей в системе. Принцип утверждает, что можно иметь дело с системой, в которой структура, функционирование или внешние воздействия не полностью определены.



## ■ СТРУКТУРА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

- Общий подход к решению проблем может быть представлен как цикл (рис. 2). При этом в процессе функционирования реальной системы выявляется проблема практики как несоответствие существующего положения дел требуемому. Для решения проблемы проводится системное исследование (декомпозиция, анализ и синтез) системы, снимающее проблему. В ходе синтеза осуществляется оценка анализируемой и синтезируемой систем.
- Реализация синтезированной системы в виде предлагаемой физической системы позволяет провести оценку степени снятия проблемы практики и принять решение на функционирование модернизированной (новой) реальной системы.
- При таком представлении становится очевидным еще один аспект определения системы: система есть средство решения проблем.
- Основные задачи системного анализа могут быть представлены в виде трехуровневого дерева функций (рис. 3).

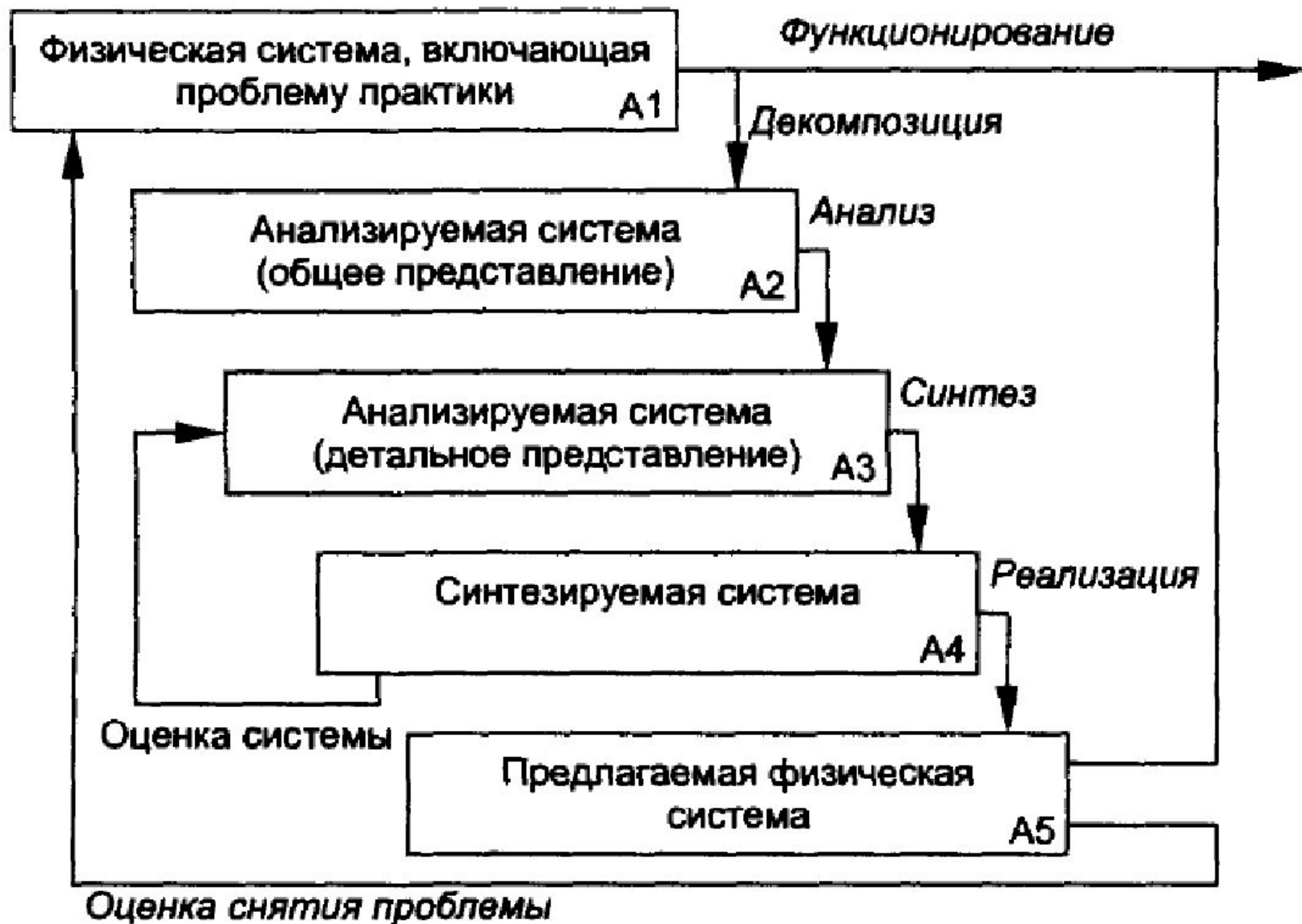


Рис. 1.8. Общий подход к решению проблем



Рис. 1.9. Дерево функций системного анализа

■ На этапе *декомпозиции*, обеспечивающем общее представление системы, осуществляются:

■ 1. Определение и декомпозиция общей цели исследования и основной функции системы как ограничение траектории в пространстве состояний системы или в области допустимых ситуаций. Наиболее часто декомпозиция проводится путем построения дерева целей и дерева функций.

■ 2. Выделение системы из среды (разделение на систему/«несистему») по критерию участия каждого рассматриваемого элемента в процессе, приводящем к результату на основе рассмотрения системы как составной части надсистемы.

■ 3. Описание воздействующих факторов.

■ 4. Описание тенденций развития, неопределенностей различного рода.

■ 5. Описание системы как «черного ящика».

■ 6. Функциональная (по функциям), компонентная (по виду элементов) и структурная (по виду отношений между элементами) декомпозиции системы.

- Рассмотрим некоторые наиболее часто применяемые стратегии декомпозиции.
- *Функциональная декомпозиция.* Декомпозиция базируется на анализе функций системы. При этом ставится вопрос *что* делает система, независимо от того, *как* она работает. Основанием разбиения на функциональные подсистемы служит общность функций, выполняемых группами элементов.
- *Декомпозиция по жизненному циклу.* Признак выделения подсистем - изменение закона функционирования подсистем на разных этапах цикла существования системы «от рождения до гибели». *Декомпозиция по физическому процессу.* Признак выделения подсистем - шаги выполнения алгоритма функционирования подсистемы, стадии смены состояний.
- *Декомпозиция по подсистемам (структурная декомпозиция).* Признак выделения подсистем - сильная связь между элементами по одному из типов отношений (связей), существующих в системе (информационных, логических, иерархических, энергетических и т.п.).

■ На этапе *анализа*, обеспечивающем формирование детального представления системы, осуществляются:

■ 1. Функционально-структурный анализ существующей системы, позволяющий сформулировать требования к создаваемой системе. Он включает уточнение состава и законов функционирования элементов, алгоритмов функционирования и взаимовлияний подсистем, разделение управляемых и неуправляемых характеристик, задание пространства состояний, задание параметрического пространства, анализ целостности системы, формулирование требований к создаваемой системе.

■ 2. Морфологический анализ - анализ взаимосвязи компонентов.

■ 3. Генетический анализ - анализ предыстории, причин развития ситуации, имеющихся тенденций, построение прогнозов.

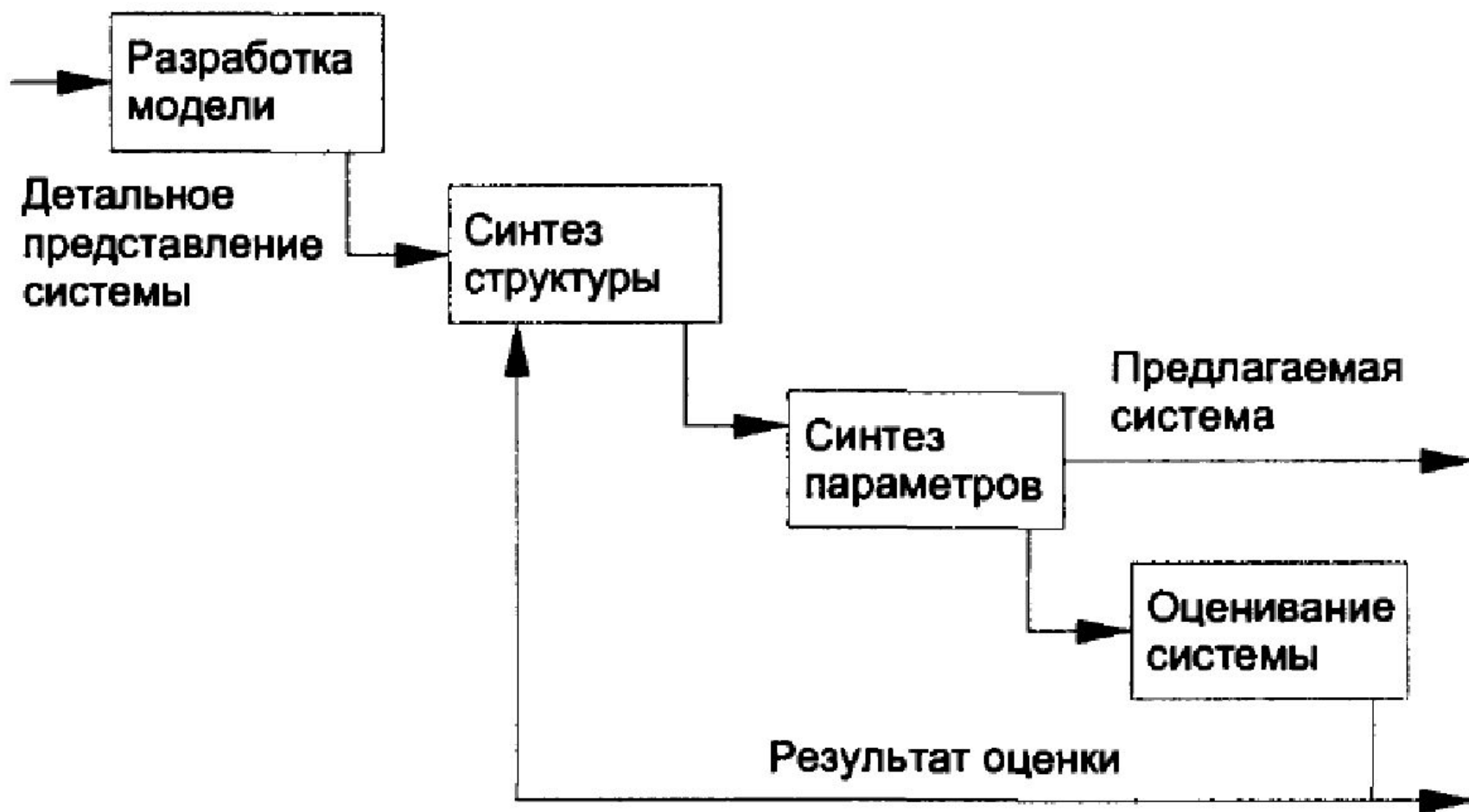
■ 4. Анализ аналогов.

■ 5. Анализ эффективности (по результативности, ресурсоемкости, оперативности).

■ 6. Формирование требований к создаваемой системе, включая выбор критериев оценки и ограничений.

- Этап *синтеза* системы, решающей проблему, представлен в виде упрощенной функциональной диаграммы на рис. 4.
- На этом этапе осуществляются:
  - 1. Разработка модели требуемой системы (выбор математического аппарата, моделирование, оценка модели по критериям адекватности, простоты, соответствия между точностью и сложностью, баланса погрешностей, многовариантности реализаций, блочности построения).
  - 2. Синтез альтернативных структуры системы, снимающей проблему.
  - 3. Синтез параметров системы, снимающей проблему.
  - 4. Оценивание вариантов синтезированной системы (обоснование схемы оценивания, реализация модели, проведение эксперимента по оценке, обработка результатов оценивания, анализ результатов, выбор наилучшего варианта).





**Рис. 1.10.** Упрощенная функциональная диаграмма этапа синтеза системы, решающей проблему