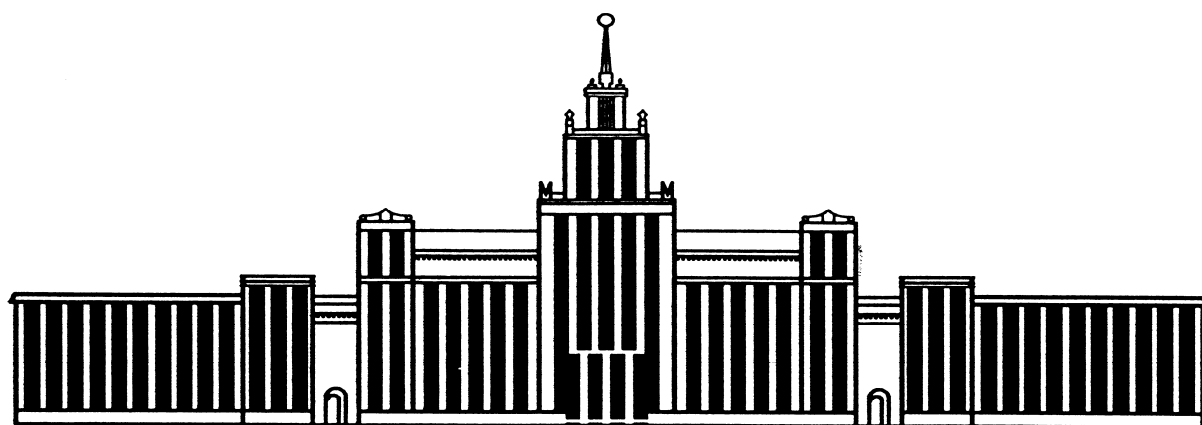

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

519.7(07)
П844

Прохорова И.А.

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Челябинск
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Информатика»

519.7(07)
П844

Прохорова И.А.

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2013

УДК 519.71(075.8)
П844

*Одобрено
учебно-методической комиссией факультета экономики и управления*

*Рецензенты:
О.Г. Завьялов, Л.Ю. Овсяницкая*

Прохорова, И.А.
П844 Теория систем и системный анализ: учебное пособие /
И.А. Прохорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. –
49 с.

В учебном пособии изложены основные разделы курса «Теория систем и системный анализ».

Пособие предназначено для бакалавров по направлению подготовки «Прикладная информатика».

УДК 519.71(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2013

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 230700 «Прикладная информатика» (квалификация (степень) «бакалавр»), утвержденным 22 декабря 2009 года, дисциплина «Теория систем и системного анализа» входит в состав базовой части математического и естественнонаучного цикла.

Целью изучения данной дисциплины является формирование у студентов системного мышления, теоретической и практической базы системного исследования при анализе проблем и принятии решений в области профессиональной деятельности.

Задачей дисциплины является приобретение студентами теоретических знаний по системному подходу к исследованию систем и практических навыков по их моделированию.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

- способен при решении профессиональных задач анализировать социально-экономические проблемы и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования (ПК-2);
- способен применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач (ПК-21).

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать: методы и модели теории систем и системного анализа, закономерности построения, функционирования и развития систем целеобразования;
- уметь: выбирать методы моделирования систем, структурировать и анализировать цели и функции систем управления, проводить системный анализ прикладной области;
- владеть: навыками работы с инструментами системного анализа.

В учебном пособии кратко изложены основные положения теории систем и системного анализа. Для лучшего усвоения материала каждый раздел пособия сопровождается контрольными вопросами.

1. ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

1.1. Системность – общее свойство материи

Свойство системности является всеобщим свойством материи [1]. Современные научные данные и современные системные представления позволяют говорить о мире как о бесконечной иерархической системе систем. Причем части системы находятся в развитии, на разных стадиях развития, на разных уровнях системной иерархии и организации.

Системность как всеобщее свойство материи проявляется через следующие составляющие [2] (рис. 1.1):

- системность практической деятельности;
- системность познавательной деятельности и
- системность среды, окружающей человека.

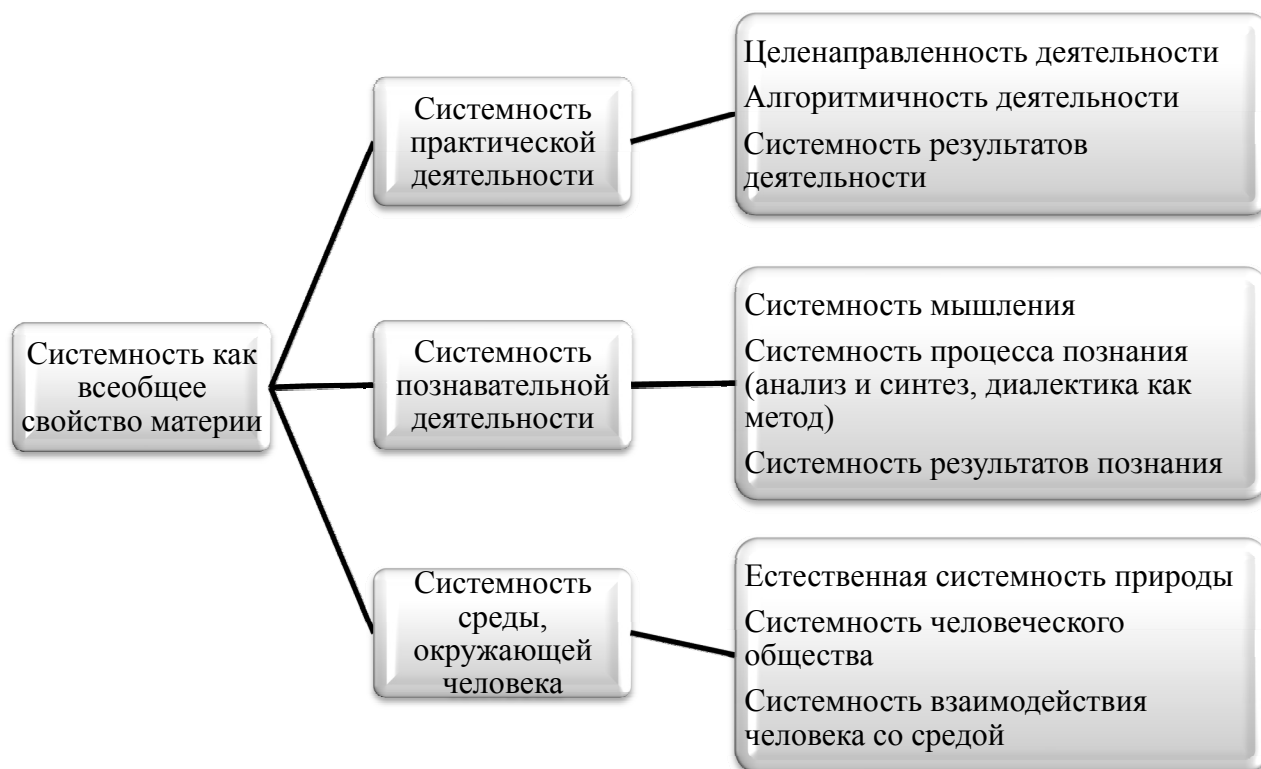


Рис. 1.1. Системность как всеобщее свойство материи

Отметим очевидные и обязательные признаки системности:

- структурированность системы,
- взаимосвязанность составляющих ее частей,
- подчиненность организации всей системы определенной цели.

По отношению к человеческой деятельности эти признаки очевидны. Всякое осознанное действие преследует определенную цель. Во всяком действии достаточно просто увидеть его составные части, более мелкие действия. При этом легко убедиться, что эти составные части должны выполняться не в произвольном порядке, а в определенной их последовательности (алгоритм). Это и есть определенная, подчиненная цели взаимосвязанность составных частей, которая и является признаком системности. Следует отметить:

во-первых, всякая деятельность алгоритмична;

во-вторых, не всегда алгоритм реальной деятельности осознается – ряд процессов человек выполняет интуитивно (признак профессионализма);

в-третьих, в случае неудовлетворенности результатом деятельности возможную причину неудачи следует искать в несовершенстве алгоритма.

Системными являются также результаты практической деятельности. В настоящее время практика ставит задачу создания новых объектов с некоторыми оптимальными свойствами. Цели, которые ставятся перед разработчиками, таким образом, являются более глобальными и более сложными.

Системным является само мышление. Успешное решение поставленной задачи зависит от того, насколько системно подходит специалист к ее анализу. Неудачи в решении тех или иных проблем связаны с отходом от системности, с игнорированием части существенных взаимосвязей компонентов системы. Разрешение возникшей проблемы осуществляется путем перехода на новый, более высокий уровень системности (системность – процесс).

Свойство системности присуще процессу познания. Системны знания, накопленные человечеством. В качестве особенности процесса познания отметим наличие аналитического и синтетического образов мышления. *Анализ* – это процесс, состоящий в разделении целого на части, в представлении сложного в виде совокупности более простых компонент, но чтобы познать целое, сложное, необходим и обратный процесс *синтез*. Это относится как к индивидуальному мышлению, так и к общечеловеческому знанию.

Аналитичность человеческого знания находит свое отражение в существовании различных наук, в продолжающейся их дифференциации, во все более глубоком изучении все более узких вопросов. Вместе с тем мы наблюдаем и обратный процесс синтеза знаний. Процесс синтеза проявляется в возникновении междисциплинарных наук, таких как физическая химия, биофизика, биохимия и т.п. Наконец, наиболее высокая форма синтеза знаний реализуется в виде наук о самых общих свойствах природы (философия, математика, кибернетика, теория систем, теория организации и т.п.). В этих дисциплинах органическим образом соединяются технические, естественнонаучные и гуманитарные знания.

В качестве методологического подхода к анализу явлений и процессов с точки зрения их системности развился диалектический метод. Именно диалектический метод рассматривает объект как комплекс взаимодействующих и взаимосвязанных компонентов, развивающихся во времени.

«Диалектика является методом познания, обеспечивающим согласование системности знаний и системности мира на любом уровне абстракции» [1].

Свойство системности присуще результатам познания. В технических науках это реализуется в построении адекватных моделей, являющихся отражением исследуемых объектов, моделей, описывающих динамическое поведение материальных объектов.

Системно также среда, окружающая человека. Свойство системности является естественным свойством природы. Окружающий нас мир есть бесконечная система систем, иерархическая организация все более сложных объектов.

Системно человеческое общество в целом. Системность человеческого общества выражается во взаимосвязи развития отдельных структур (национальных, государственных, религиозных образований) и в их взаимном влиянии друг на друга. Причем уровень системности человеческого общества постоянно увеличивается. Таким образом, системность необходимо рассматривать в историческом аспекте. Если в Древнем мире уровень общения между племенами был минимален, то в современном обществе события,

происходящие в одних государствах, находят отклик в различных частях мира и имеют на них влияние.

Системны взаимодействия человека со средой. В данном аспекте системность выражается в необходимости комплексного учета всех особенностей и возможностей воздействий факторов внешней среды на ее состояние в последующие моменты. В случае недостаточной проработки данных вопросов, игнорирования ряда факторов наблюдается возникновение проблемы в развитии природы, негативное воздействие на хозяйственную и культурную деятельность человека (например, строительство гидроэлектростанций, атомных станций, гибель Аральского моря и т.п.).

1.2. Основные понятия системного анализа

Системный подход представляет собой совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов и процессов в целом, представив их в качестве систем со сложными межэлементными взаимосвязями, взаимовлиянием самой системы на ее структурные элементы.

Методология системного подхода опирается на доминирующую роль целого по отношению к составным частям элементов.

В системном подходе мысль движется от целого к составным частям, от системы к элементам, от сложного к простому явлению, и целое определяет характер и специфику элементов и частей, входящих в состав данного целого.

Системные исследования – термин, введенный в 70-е гг. XX в. для обобщения прикладных научных направлений, связанных с исследованием и проектированием сложных систем.

Системные исследования представляют собой совокупность научных теорий, концепций и методов, в которых объект исследования рассматривается как система.

Объектом системных исследований являются системы, представляющие множество взаимосвязанных элементов, выступающих как единое целое со всеми присущими ему внутренними и внешними связями и свойствами.

В системных исследованиях выделяют *три аспекта*:

- 1) разработка теоретических основ системного подхода;
- 2) построение адекватного системному подходу исследовательского аппарата (формальная сфера);
- 3) приложение системных идей и методов (прикладная сфера).

Специфика системного исследования определяется выдвижением новых принципов подхода к объекту изучения.

Ведущее место в системных исследованиях на данный момент занимает общая теория систем, основания которой заложил в 40-х годах XX века Л. Берталанти. Он разработал концепцию организма как открытой системы и сформулировал программу построения общей теории систем. *Общая теория систем* в ее нынешнем состоянии рассматривается как совокупность различных моделей и способов описания систем разного рода [6] (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Состав общей теории систем

Системный анализ признается в настоящее время наиболее конструктивным из направлений системных исследований.

Системный анализ – наука, занимающаяся проблемой принятия решений в условиях анализа большого количества информации различной природы.

Системный анализ

- в узком смысле представляет собой методологию принятия решений,
- в широком смысле – синтез методологии общей теории систем, системного подхода и системных методов обоснования и принятия решений.

Системный анализ позволяет разделить сложную задачу на совокупность простых задач, расчленив сложную систему на элементы с учетом их взаимосвязи. Таким образом, системный анализ выступает как процесс последовательной декомпозиции решаемой сложной проблемы на взаимосвязанные частные проблемы.

Суть системного анализа заключается в следующем:

- системный анализ связан с принятием оптимального решения из многих возможных альтернатив;
- каждая альтернатива оценивается с позиции длительной перспективы;
- системный анализ рассматривается как методология углубленного уяснения (понимания) и упорядочения (структуризации) проблемы;
- применяется в первую очередь для решения стратегических проблем.

В системном анализе используются как математический аппарат общей теории систем, так и другие качественные и количественные методы из области математической логики, теории принятия решений, теории эффективности, теории информации, структурной лингвистики, теории нечетких множеств, методов искусственного интеллекта, методов моделирования.

1.3. Задачи системного анализа

В состав задач системного анализа входят задачи декомпозиции, анализа и синтеза [7] (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Задачи системного анализа	Описание
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.

Основные задачи системного анализа могут быть представлены в виде трехуровневого дерева функций (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Дерево функций системного анализа

1.4. Принципы системного анализа

Принципы системного анализа – это некоторые положения общего характера, являющиеся обобщением опыта работы человека со сложными системами. На настоящее время нет общепринятых формулировок принципов, но так или иначе все они описывают одни и те же понятия.

Наиболее часто к системным причисляют следующие принципы [7], представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Системные принципы	Описание
Принцип конечной цели	<p>Это абсолютный приоритет конечной (глобальной) цели. Принцип имеет несколько правил:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для проведения системного анализа необходимо в первую очередь сформулировать цель исследования;

Системные принципы	Описание
	<ul style="list-style-type: none"> – анализ следует вести на базе первоочередного уяснения основной цели (функции, основного назначения) исследуемой системы, что позволит определить ее основные существенные свойства, показатели качества и критерии оценки; – при синтезе систем любая попытка изменения или совершенствования должна оцениваться относительно того, помогает или мешает она достижению конечной цели; – цель функционирования искусственной системы задается, как правило, системой, в которой исследуемая система является составной частью
Принцип измерения	Для определения эффективности функционирования системы необходимо представить ее как часть более общей и проводить оценку внешних свойств исследуемой системы относительно целей и задач суперсистемы
Принцип эквивалентности	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 изнутри» системы, на расчленение ее с сохранением целостных представлений о системе
Принцип связанности	Рассмотрение любой части совместно с ее окружением подразумевает проведение процедуры выявления связей между элементами системы и выявление связей с внешней средой (учет внешней среды)
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 развития (изменения)	Это учет изменяемости системы, ее способности к развитию, адаптации, расширению, замене частей, накоплению информации
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
Принцип системности [6]	Он предполагает исследование объекта, с одной стороны, как единого целого, а с другой стороны, как части более крупной системы, в которой анализируемый объект находится с остальными системами в определенных отношениях

1.5. Области применения системного анализа

Системный анализ применяется для решения крупных проблем, связанных с деятельностью многих людей, с большими материальными затратами [6].

Человеческую деятельность можно условно разделить на две области:

- область рутинной деятельности, т.е. регулярных, повседневно решаемых задач;
- область решения новых, впервые возникших задач.

В первой из них способы решения задач обычно хорошо отработаны и почвы для системного анализа не представляют, хотя само наличие рутины в некоторых случаях составляет проблему (например, тенденция к постоянному увеличению работников аппарата управления).

Во второй области (науке, перспективном планировании) методы системного анализа применимы почти повсеместно.

Потребность в системном анализе возникает, например, в следующих ситуациях:

1. При решении новых проблем, когда с помощью системного анализа формулируется проблема, определяется, что и о чем нужно знать, кто должен знать и понимать.
2. Если решение проблемы предусматривает увязку целей со множеством средств их достижения.
3. Если проблема имеет разветвленные связи, вызывающие отдаленные последствия в разных отраслях народного хозяйства, и принятие решения по ним требует учета полной эффективности и полных затрат.
4. Во всех случаях, когда в народном хозяйстве создаются совершенно новые уникальные системы, совершенствуется производство или методы и формы экономического управления.
5. Во всех проблемах, связанных с автоматизацией производства, а особенно управления, в процессе создания автоматизированных систем управления.
6. Если принимаемые на будущее решения должны учитывать факторы неопределенности и риска.
7. Во всех случаях, когда планирование или выработка ответственных решений о направлениях развития принимается на достаточно отдаленную перспективу.
8. Везде, где требуется выработка критериев оптимальности с учетом целей развития и функционирования системы и т. п.

1.6. Определение системы

Главной категорией системных исследований в целом и системного анализа в частности является понятие системы.

Существует множество определений понятия «система». Под *системой*, например, понимается [6]:

- (от др.-греч. σύστημα — целое, составленное из частей; соединение) – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом,

которое образует определённую целостность, единство (Большой Российский энциклопедический словарь);

- комплекс элементов, находящихся во взаимодействии и единстве (Людвиг фон Берталанфи);
- множество элементов с отношениями между ними и между их атрибутами (А. Холл, Р. Фейджин);
- совокупность элементов, организованных таким образом, что изменение, исключение или введение нового элемента закономерно отражаются на остальных элементах (В.Н. Топоров);
- взаимосвязь самых различных элементов; все, состоящее из связанных друг с другом частей (С. Бир);
- отображение входов и состояний объекта в выходах объекта (М. Месарович).

Мы будем придерживаться следующих определений системы [2]:

- *система есть средство достижения цели;*
- *система есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое.*

1.7. Понятие модели системы

Одной из составных частей процедуры проведения системного анализа является формализация описания системы, т.е. построение модели.

Понятие модели системы играет важную роль в проведении системных исследований любой направленности [2]. *Модель* – это искусственно создаваемый образ конкретного объекта, процесса или явления, в конечном счете, любой системы.

Понятие модели связано с наличием какого-либо сходства между выбранными объектами, один из которых является оригиналом, а другой – его образом, выполняющим роль модели. Модели являются всегда упрощенным описанием системы.

Модель – это отображение реальной системы (оригинала), имеющее определенное объективное соответствие ей и позволяющее прогнозировать и исследовать ее функциональные характеристики, т.е. характеристики, определяющие взаимодействие системы с внешней средой.

Анализируемая система может быть описана разными моделями, каждая из которых обладает характерными свойствами и пригодна для решения лишь определенного круга задач, относящихся к структуре и функционированию системы. Рассмотрим основные виды моделей систем и способы их построения (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Модель системы	Описание
Модель черного ящика	Модель типа «черный ящик» (названием подчеркивается отсутствие сведений о внутреннем содержании «ящика») отображает только связи системы со средой в виде перечня «входов» и «выходов»

Продолжение табл. 1.3

Модель системы	Описание
	<p>Трудность построения модели черного ящика состоит в том, что надо решать, какие из многочисленных реальных связей включать в состав модели, т.е. отвечать на вопрос, какие связи существенны с точки зрения решаемой задачи. Кроме того, всегда существуют и такие связи, которые нам неизвестны (не выявлены), но они тоже могут оказаться существенными</p> <p>Метод черного ящика применим в различных ситуациях.</p> <p>Во-первых, конструкция системы может не интересовать наблюдателя, которому важно знать только поведение системы.</p> <p>Во-вторых, этот метод используется при недоступности внутренних процессов системы для исследования.</p> <p>В-третьих, 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, либо изучение недопустимо по каким-либо соображениям</p>
Модель состава системы	<p>В том случае, когда системного аналитика интересуют вопросы внутреннего устройства системы, модели черного ящика оказывается недостаточно. Для решения данного вопроса необходимо разрабатывать более детальные, более развитые модели. Одной из разновидностей таких моделей, раскрывающей внутренне содержание системы, является модель состава системы. Модель состава системы описывает из каких подсистем и элементов она состоит.</p> <p>Трудности построения модели состава:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в зависимости от цели исследования, постановки задачи по достижению данной цели и исходной информации, имеющейся для решения задачи, одну и ту же систему следует представить в виде различных частей, различных иерархий; - условным является также разбиение системы над подсистемы; - неоднозначность границ между системой и окружающей средой, которые определяются целями построения модели и не имеют абсолютного характера.
Модель структуры системы	<p>Тип модели, который еще глубже характеризует внутреннюю композицию системы, называется моделью структуры системы. Модели данного типа наряду с характеристикой состава системы отражают взаимосвязи между объектами системы: элементами, частями, компонентами и подсистемами. Таким образом, модель структуры системы является дальнейшим развитием модели состава.</p> <p>Трудности построения модели структуры системы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - каждый элемент – «черный ящик», следовательно, все сложности построения модели черного ящика; - разные модели состава – разные модели структуры, следовательно, все сложности построения модели состава; - для одной модели состава можно строить разные модели структуры.

Модель системы	Описание
Динамические модели систем	<p>Выше были построены модели, которые являются как бы «фотографиями» системы, отображают ее в некоторый момент времени. В этом смысле их можно назвать статическими моделями.</p> <p>Динамические модели отражают поведение систем, описывают происходящее с течением времени изменения, последовательность операций, действий, причинно-следственные связи. Системы, в которых происходят какие бы то ни было изменения со временем, называются динамическими, а модели, отображающие эти изменения, – динамическими моделями систем.</p> <p>Различают два типа динамики системы: ее функционирование и развитие. Под функционированием понимают процессы, которые происходят в системе (и окружающей ее среде), стабильно реализующей фиксированную цель. Развитием называют изменения, происходящие с системой при смене ее целей. Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели, и для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы.</p> <p>Всякая реальная динамическая система подчинена принципу причинности: отклик системы на некоторое воздействие не может начаться раньше самого воздействия. Условия, при которых модель отражает этот принцип, называются условиями физической реализуемости модели.</p>

1.8. Основные признаки системы

К основным признакам системы можно отнести следующие:

- *целостность, связность или относительная независимость от среды и систем* (это наиболее существенная количественная характеристика системы), с исчезновением связности исчезает и сама система, хотя элементы системы и даже некоторые связи, отношения между ними могут быть сохранены;
- *наличие подсистем и связей между ними или наличие структуры системы* (это наиболее существенная качественная характеристика системы), с исчезновением подсистем или связей между ними может исчезнуть и сама система;
- *возможность обособления или абстрагирования от окружающей среды*, т.е. относительная обособленность от тех факторов среды, которые в достаточной мере не влияют на достижение цели;
- *связь с окружающей средой по обмену ресурсами*;
- *подчиненность всей организации системы некоторой цели*;
- *эмерджентность или несводимость свойств системы к свойствам элементов*.

Чтобы определить систему необходимо сделать следующее:

1. Исходя из намеченных функций, система вычленяется (проводится граница) из внешней среды.

2. Четко определяется функция системы и в соответствии с ней система проверяется на полноту элементов, целостность, единство с позиции ее функционирования.
3. Строится структура системы.
4. Устанавливаются внутренние законы, по которым система функционирует и развивается

1.9. Понятия, характеризующие строение и функционирование систем

Рассмотрим понятия, с помощью которых уточняют представление о системе и характеризуют ее строение и функционирование (табл. 1.4) [5, 9].

Таблица 1.4

Понятие	Определение
Элемент	Это предел членения системы с точки зрения решения конкретной задачи или поставленной цели. Поскольку элемент выступает как своеобразный предел возможного членения объекта, собственное его строение (или состав) обычно не принимается во внимание в характеристике системы
Подсистема	Представляет собой компонент более крупный, чем элемент, и в тоже время более детальный, чем система в целом. Возможность деления системы на подсистемы связана с вычлениением совокупностей взаимосвязанных элементов, способных выполнять относительно независимые функции, подцели, направленные на достижение общей цели системы. Подсистема должна обладать свойствами системы, в частности свойством целостности
Структура (от латинского слова «structure», означающего строение, расположение, порядок)	<p>Отражает наиболее существенные взаимоотношения между элементами и их группами (компонентами, подсистемами), которые мало меняются при изменениях в системе и обеспечивают существование системы и ее основных свойств. Структура может быть представлена:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в виде графического отображения; - в виде теоретико-множественных описаний; - в виде матриц; - в виде графов; - с помощью языков моделирования структур. <p>Структуру часто стремятся представить в виде иерархии.</p> <p>Структуры систем бывают разного типа, разной топологии (или же пространственной структуры)</p>
Связь	<p>Обеспечивает возникновение и сохранение структуры и целостных свойств системы. Данное понятие одновременно характеризует и строение, и функционирование системы.</p> <p>Связь можно охарактеризовать направлением, силой, характером (видом).</p> <p>По первым двум признакам связи делятся на направленные и ненаправленные, слабые и сильные.</p> <p>По характеру – на связи подчинения, связи порождения, равноправные, связи управления, связи развития, связи функционирования.</p>

Понятие	Определение
	<p>По месту приложения – внешние и внутренние.</p> <p>По направленности процессов в системе в целом или в отдельных ее подсистемах – прямые и обратные.</p> <p>Связи в конкретных системах могут одновременно характеризоваться несколькими из перечисленных признаков.</p> <p>Обратная связь является основой саморегулирования и развития систем, приспособления их к меняющимся условиям существования.</p> <p>Принцип обратной связи следует отличать от самой обратной связи.</p> <p>Обратная связь подразумевает наличие канала для передачи информации (воздействия) от управляемого объекта (с его выходов) к управляющему.</p> <p><i>Принцип обратной связи</i> есть принцип коррекции входных воздействий в процессе управления на основе информации о выходе управляемой системы. Принцип обратной связи – это универсальный принцип управления, позволяющий в изменяющейся среде достигать заданной цели.</p> <p>В зависимости от характера самой цели выделяют положительные и отрицательные обратные связи.</p> <p><i>Отрицательная обратная связь</i> – обратная связь, предназначенная для поддержания системы в заданном состоянии (при неизменном значении описывающих ее параметров), т.е. для достижения так называемой долговечной цели.</p> <p><i>Положительная обратная связь</i> – обратная связь, предназначенная для перевода системы в новое состояние, которое зависит от сложившейся конкретной ситуации, т.е. для достижения текущей (меняющейся, конкретизирующей) цели</p>
Состояние	Понятие состояние характеризует мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в ее развитии. Его определяют либо через входные воздействия и выходные сигналы (результаты), либо макропараметры, макросвойства системы
Поведение	Если система способна переходить из одного состояния в другое (например, $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3$), то говорят, что она обладает поведением. Поведение можно представить как функцию $s_t = f(s_{t-1}, y_t, x_t)$, где y_t , x_t – соответственно управляющие и возмущающие (неконтролируемые) входы системы (помехи)
Равновесие	Понятие равновесия определяют как способность системы в отсутствие внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранить свое состояние сколь угодно долго
Устойчивость	Способность системы возвращаться в состояние равновесия после того как она была из этого состояния выведена под влиянием внешних возмущающих воздействий, называют устойчивостью
Развитие	Если в системе количественные изменения характеристик элементов и их отношений в системе приводят к качественным изменениям, то такие системы называются развивающимися

Понятие	Определение
Цель	Это субъективный образ (абстрактная модель) несуществующего, но желаемого состояния среды, которое решило бы возникшую проблему
Целеобразование (целеполагание)	Направление системного анализа, занимающееся исследованием процесса формулирования и анализа целей в системах разного рода

1.10. Классификация систем

Классификацией называется распределение некоторой совокупности объектов на классы по наиболее существенным признакам. Признак или их совокупность, по которым объекты объединяются в классы, являются основанием классификации.

Класс – это совокупность объектов, обладающих некоторыми признаками общности.

Анализ существующих классификаций с учетом логических правил деления всего объема понятий, связанных с системами, позволяет сформулировать следующие требования к построению классификации:

- в одной и той же классификации необходимо применять одно и то же основание;
- объем элементов классифицируемой совокупности должен равняться объему элементов всех образованных классов;
- члены классификации (образованные классы) должны взаимно исключать друг друга, т. е. должны быть непересекающимися;
- подразделение на классы (для многоступенчатых классификаций) должно быть непрерывным, т. е. при переходах с одного уровня иерархии на другой необходимо следующим классом для исследования брать ближайший по иерархической структуре системы.

Для выделения классов систем могут использоваться различные классификационные признаки (табл. 1.5) [2, 3, 6].

Таблица 1.5

Классификационные признаки	Классы	Характеристика различных классов систем
Природа элементов	Материальные	Являются объектами реального времени
	Абстрактные	Это умозрительное представление образов или моделей материальных систем, которые подразделяются на описательные (логические) и символические (математические)
Происхождение	Естественные	Представляют собой совокупность объектов природы
	Искусственные	Это результат созидательной деятельности человека.

Продолжение табл. 1.5

Классификационные признаки	Классы	Характеристика различных классов систем
Длительность существования	Постоянные	<p>К <i>постоянным</i> обычно относятся естественные системы, хотя с точки зрения диалектики все существующие системы – <i>временные</i>.</p> <p>К постоянным относятся искусственные системы, которые в процессе заданного времени функционирования сохраняют существенные свойства, определяемые предназначением этих систем</p>
	Временные	
Изменчивость свойств	Статические	Системы, при исследовании которых можно пренебречь изменениями во времени характеристик их существенных свойств. Статическая система – это система с одним состоянием
	Динамические	Эти системы имеют множество возможных состояний, которые могут меняться как непрерывно, так и дискретно
	Квазистатические (квазидинамические)	Системы, находящиеся в неустойчивом положении между статикой и динамикой, которые при одних воздействиях ведут себя как статические, а при других воздействиях – как динамические
Степень сложности	Простые	Системы, которые с достаточной степенью точности могут быть описаны известными математическими соотношениями (пример: деталь, оконная задвижка, подбрасывание монеты и т.п.)
	Сложные	<p>Сложные системы – это системы, которые нельзя скомпоновать из некоторых подсистем. Это равноценно тому, что:</p> <p>а) наблюдатель последовательно меняет свою позицию по отношению к объекту и наблюдает его с разных сторон;</p> <p>б) разные наблюдатели исследуют объект с разных сторон.</p> <p>Пример: ЭВМ, условные рефлексы, выбор материала ветрового стекла автомобиля и т.п.</p>
	Большие	Это системы, не наблюдаемые одновременно с позиции одного наблюдателя либо во времени, либо в пространстве. В таких случаях система

Продолжение табл. 1.5

Классификационные признаки	Классы	Характеристика различных классов систем
		рассматривается последовательно по частям (подсистемам), постепенно перемещаясь на более высокую ступень. Каждая из подсистем одного уровня иерархии описывается одним и тем же языком, а при переходе на следующий уровень наблюдатель использует уже метаязык, представляющий собой расширение языка первого уровня за счет средств описания самого этого языка. Создание этого языка равноценно открытию законов порождения структуры системы и является самым ценным результатом исследования. Пример: АСУ, промышленные предприятия, воинские части и т.п.
Степень взаимодействия с внешней средой	Открытые	Эти системы обладают особенностью обмениваться с внешней средой массой, энергией, информацией
	Замкнутые (или закрытые)	Эти системы изолированы от внешней среды
Степень организованности	Хорошо организованные	Система, у которой определены все элементы, их взаимосвязь, правила объединения в более крупные компоненты, связи между всеми компонентами и целями системы, ради достижения которых создается или функционирует система. При этом подразумевается, что все элементы системы с их взаимосвязями между собой, а также с целями системы можно отобразить в виде аналитических зависимостей. Пример: сложное электронное устройство
	Плохо организованные	При представлении объекта в виде плохо организованной системы не ставится задача определить все учитываемые компоненты, их свойства и связи между собой, а также с целями системы. Для плохо организованной системы формулируется набор макропараметров и функциональных закономерностей, которые будут ее характеризовать

Классификационные признаки	Классы	Характеристика различных классов систем
	Самоорганизующиеся	Системы, обладающие свойством адаптации к изменению условий внешней среды, способные изменять структуру при взаимодействии системы со средой, сохраняя при этом свойство целостности; системы способные формировать возможные варианты поведения и выбирать из них наилучшие. Пример: биологические системы, предприятия и их система управления, городские структуры управления и т.п.

Контрольные вопросы

1. Объясните, что такое системность. Как Вы понимаете тезис: «системность – всеобщее свойство материи»?
2. Что такое системный подход, системные исследования и системный анализ?
3. Состав задач системного анализа.
4. Назовите принципы системного анализа.
5. Когда применяются методы системного анализа?
6. Состав общей теории систем.
7. Дайте определение понятия «система».
8. Что такое элемент, подсистема и структура системы?
9. Определите понятие «связь». Что такое обратная связь?
10. Понятие состояния и поведения системы.
11. Дайте определение внешней среды.
12. Что такое модель? Модель черного ящика, модель состав системы и модель структуры системы.
13. Дайте классификацию систем по признакам.

2. ЛОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

2.1. Логические основы системного анализа

Логика (греч. logos – речь, мысль, разум) есть наука о законах, формах и приемах правильного построения мысли, т. е. мышления, направленного на познание объективного мира [6].

Основные задачи логики:

- выявление условий достижения истинных знаний,
- изучение внутренней структуры мыслительного процесса,
- выработка логического аппарата и правильного метода познания.

Виды логики, обусловленные наличием двух аспектов мышления (содержательного и формального):

- *диалектическая логика* – наука о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления;
- *формальная логика* – конструирование и исследование правил преобразования высказываний, сохраняющих их истинностное значение безотносительно к содержанию входящих в эти высказывания понятий.

Предмет диалектической логики – мышление.

По своему содержанию *мышление* есть отражение закономерностей реальной действительности.

Формы мышления:

- *понятие* – это мысль, которая отображает общие и существенные признаки предметов;
- *суждение* – это такая форма мышления, в которой, сочетая понятия, что-либо утверждается или отрицается о самых реальных вещах и явлениях;
- *умозаключение* – это форма мышления, посредством которой из одного или нескольких суждений, связанных между собой, с логической необходимостью получается новое суждение.

Различают следующие виды мышления:

- *наглядно-действенное* – характеризуется тем, что решение задачи осуществляется с помощью реального, физического преобразования ситуации, опробования свойств объекта;
- *словесно-логическое* – характеризуется использованием понятий, логических конструкций;
- *наглядно-образное* – наиболее полно воссоздает все многообразие различных характеристик предмета.

Выделяют следующие типы мышления:

- *теоретическое* – направлено на открытие законов, свойств объекта;
- *практическое* – связано с постановкой целей, выработкой планов и проектов, часто развертывающихся в условиях дефицита времени;
- *логическое (аналитическое)* – связано с анализом действий;
- *интуитивное* – характеризуется быстротой протекания, отсутствием четко выраженных этапов, минимальной осознанностью.

Категории логики: проблема; гипотеза; теория.

В общем случае под проблемой понимается несоответствие между необходимым (желаемым) и фактическим положением дел.

Научной проблемой считают такую, решение которой не содержится в накопленном обществом знании.

Проблемы различают по степени их структуризации, т. е.:

- 1) по ясности, осознанности их постановки;
- 2) степени детализации и конкретизации представлений об их составляющих и взаимосвязях;
- 3) соотношению количественных и качественных факторов, отмечаемых в постановке проблемы.

В соответствии с этим выделяют *три класса проблем*:

- 1) хорошо структурированные, или количественно сформулированные;
- 2) слабо структурированные, или смешанные, содержащие количественные и качественные оценки;
- 3) неструктурированные, или качественные проблемы.

Для решения проблем первого класса существует хорошо развитый математический аппарат исследования операций.

Для решения проблем второго класса нужны системные методы.

Для решения проблем третьего класса применяются эвристические методы.

Следовательно, системный анализ и применяется для того, чтобы сначала слабо структурированную проблему превратить в хорошо структурированную, к решению которой можно приложить аппарат исследования операций и теорию оптимизации.

Грамотная постановка проблемы предполагает выполнив следующих групп действий (Жариков Е. С., 1973 г.) :

- 1) *формулирование проблемы*, состоящее из знания (выдвижения центрального вопроса проблемы), *констрадикции* (фиксации того противоречия, которое лежало в основе проблемы), *финитизации* (предположительного описания ожидаемого результата);
- 2) *построение проблемы*, представленное операциями *стратификации* («расщепление» проблемы на подвопросы, без ответов, на которые нельзя получить ответа из основной проблемный вопрос), *композиции* (группирование и определение последовательности решения подвопросов, составляющих проблему), *локализации* (ограничение поля изучения в соответствии с потребностями исследования и возможностями исследователя, ограничение известного от неизвестного в области, избранной для изучения), *вариантификации* (выработки установки на возможность замены любого вопроса проблемы любым другим и поиск альтернатив для всех элементов проблемы);
- 3) *оценка проблемы*, характеризующаяся такими действиями специалиста, как *кондификация* (выявление всех условий, необходимых для решения проблемы, включая методы, средства, приемы и т. п.), *инвентаризация* (проверка наличных возможностей и предпосылок), *когнификация* (выяснение степени проблемности, т. е. соотношения известного и неизвестного в той информации, которую требуется использовать для решения проблемы), *уподобление* (нахождение среди уже решенных проблем аналогичных решаемой), *квалификация* (отнесение проблемы к определенному типу);
- 4) *обоснование*, представляющее собой последовательную реализацию процедур *экспозиции* (установление целостных, содержательных и генетических связей данной проблемы с другими проблемами), *актуализации* (приведение доводов в пользу реальности проблемы, ее постановки и решения), *компрометации* (выдвижение сколь угодно большого числа возражений против проблемы), *демонстрации*

(объективный синтез результатов, полученных на стадии актуализации и компрометации);

- 5) *обозначение*, состоящее из *экспликации* (разъяснения) понятий, *перекодировки* (перевод проблемы на иной научный и обыденный языки), *интимизации* понятий (словесная нюансировка – малозаметный переход – выбор проблемы и подбор понятий, наиболее точно характеризующих смысл проблемы).

В зависимости от характера исследования и опыта исследователя возможно изменение последовательности процедур и операций. Некоторые из них могут осуществляться параллельно с другими (например, стратификация (разделение) с вариантификацией (заменой одного вопроса на другой)), некоторые – по мере разворачивания всех процедур и операций проблемы (например, экспликация (разъяснение) понятий или уподобление). Все процедуры можно представить в виде сети, которая, будучи наложена на неизвестную (или частично неизвестную) область, позволяет упорядочить наши представления об этой области, ее границах, методах и средствах ее постижения и т. д.

Следующая важная категория логики – *гипотеза*.

Гипотеза (от древнегреч. «основание», «предположение») – недоказанное утверждение, предположение или догадка.

Научная гипотеза – такое предположительное знание, истинность или ложность которого еще не доказано, но которое выдвигается не произвольно, а при соблюдении ряда требований, к которым относятся следующие:

1. Отсутствие противоречий. Основные положения предлагаемой гипотезы не должны противоречить известным и проверенным фактам (при этом следует учитывать, что бывают и ложные факты, которые сами нуждаются в проверке).
2. Соответствие новой гипотезы надежно установленным теориям. Так, после открытия закона сохранения и превращения энергии все новые предложения о создании «вечного двигателя» более не рассматриваются.
3. Доступность выдвигаемой гипотезы экспериментальной проверке, хотя бы в принципе.
4. Максимальная простота гипотезы.

Можно предложить следующие пути формирования гипотез:

- формулирование проблемности, противоречивости прежней теории, что уже носит характер гипотезы;
- формулирование нового идеального объекта теории (например, квантовая модель Н. Бора была сначала представлена как гипотеза, а затем – как теория);
- предположение о существовании каких-то предметов или их свойств, которые могут стать объектом практической деятельности (например, гипотеза о существовании кварков).

Третья категория логики – *теория*. Схема содержания знаний о теории представлена ниже (Зорина Л. Я., 1976 г.):

- 1) определение теории как системы знаний, пронизанной совокупностью общих идей;
- 2) состав и структура оформленной дедуктивной теории;
- 3) характеристика основных положений теории, требования, предъявляемые к постулатам и ко всей теории в целом;
- 4) пути проверки теории;
- 5) границы применимости теории;
- 6) условия возникновения теорий;
- 7) отличия дедуктивных теорий от описательных.

Теория – совокупность знаний, образующих систему на основе некоторых общих положений. Иначе – это система знаний, пронизанная общими положениями, часто называемыми идеями теории. Природа общих положений может быть различной. В качестве общих положений могут вступать качественные и количественные закономерности.

В науке различают *дедуктивные* и *описательные* теории. Основные положения дедуктивной теории (постулаты) – это высказывания, которые логически не выводятся из других знаний в рамках этой же теории, а являются обобщением опыта и проверяются опытами (прямыми, а чаще косвенными). В отличие от дедуктивных теорий, в описательных теориях (например, эволюционная теория Дарвина) законы формулируются не в начале теории, а по мере развертывания материала.

Под *научной теорией* понимается особая форма организации знаний, включающая три элемента: научные понятия, основные положения и следствия. Органичным свойством теории является системность входящих в нее знаний.

2.2. Методология познания

Под *методологией системного исследования* понимается совокупность системных методов и средств, направленных на решение сложных и комплексных проблем.

Если *системный метод* представляет собой общий подход к решению какой-либо сложной проблемы объекта с учетом его целостности, способ достижения цели, определенным образом упорядоченную деятельность, то *системным средством* называется совокупность принципов и понятий.

Метод – это путь познания, опирающийся на некоторую совокупность ранее полученных общих знаний.

Поскольку метод связан с предварительными знаниями, *методология* делится на две части: учение об исходных основах (принципах) познания и учение о способах и приемах исследования, опирающихся на эти основы.

В *учении об исходных основах познания* анализируются и оцениваются те философские представления и взгляды, на которые исследователь опирается в процессе познания. Следовательно, эта часть методологии непосредственно связана с философией, с мировоззрением.

В учении о способах и приемах исследования рассматриваются общие стороны частных методов познания, составляющих общую методику исследования.

Методология научного познания изучает *методы научного исследования*. К ним относятся:

- во-первых, исходные основы и принципы научного исследования;
- во-вторых, приемы и способы эмпирического и теоретического исследования в науке, опирающиеся на эти принципы.

Значение методологии научного познания состоит в том, что она позволяет:

- 1) выяснить подлинную философскую основу научного познания;
- 2) систематизировать весь объем научных знаний, что даст возможность эффективнее использовать все имеющиеся знания;
- 3) создать условия для разработки новой, еще более эффективной методики для дальнейших исследований во всех областях знаний.

Главная задача методологии научного познания в данный период – создание современного синтеза всех накопленных научных знаний.

Выделяют три вида методологии:

- методологию как науку о всеобщем методе исследования;
- методологию как науку об общенаучных методах исследования;
- методологию как науку о частных, специальных методах познания.

2.3. Классификация методов и моделей системного анализа

Арсенал методов системного анализа весьма велик, и каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, а также область применения как по отношению к типу объекта, так и по отношению к этапу его исследования [5].

Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное, *вербальное* описание в *формальное* (с помощью математических зависимостей между величинами в виде формул, уравнений, систем уравнений).

Между неформальным, образным мышлением человека и формальными моделями классической математики сложился «спектр» (рис. 2.1) методов, которые помогают получать и уточнять (формализовать) вербальное описание проблемной ситуации, с одной стороны, и интерпретировать формальные модели, связывать их с реальной действительностью, с другой.

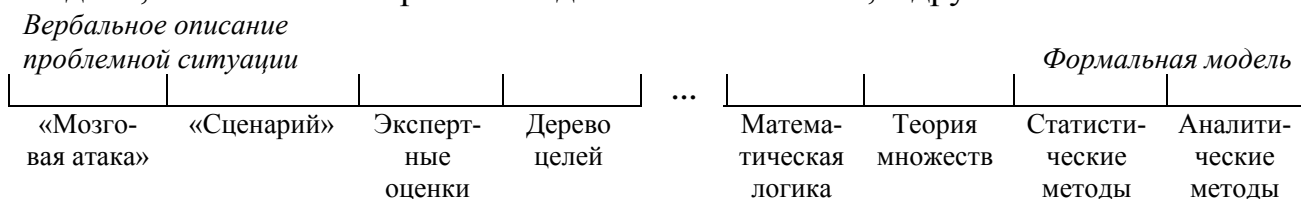


Рис. 2.1. «Спектр» методов

Если последовательно менять методы приведенного на рисунке «спектра» (не обязательно используя все), то можно постепенно, ограничивая полноту описания проблемной ситуации (что неизбежно при формализации), но сохраняя наиболее существенные с точки зрения цели (структуры целей) компоненты и связи между ними, перейти к формальной модели.

Таким образом, можно разделить методы моделирования систем на два больших класса: *методы формализованного представления систем (МФПС)* и *методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (МАИС)*. Возможная классификация этих двух групп методов приведена на рисунке 2.2.

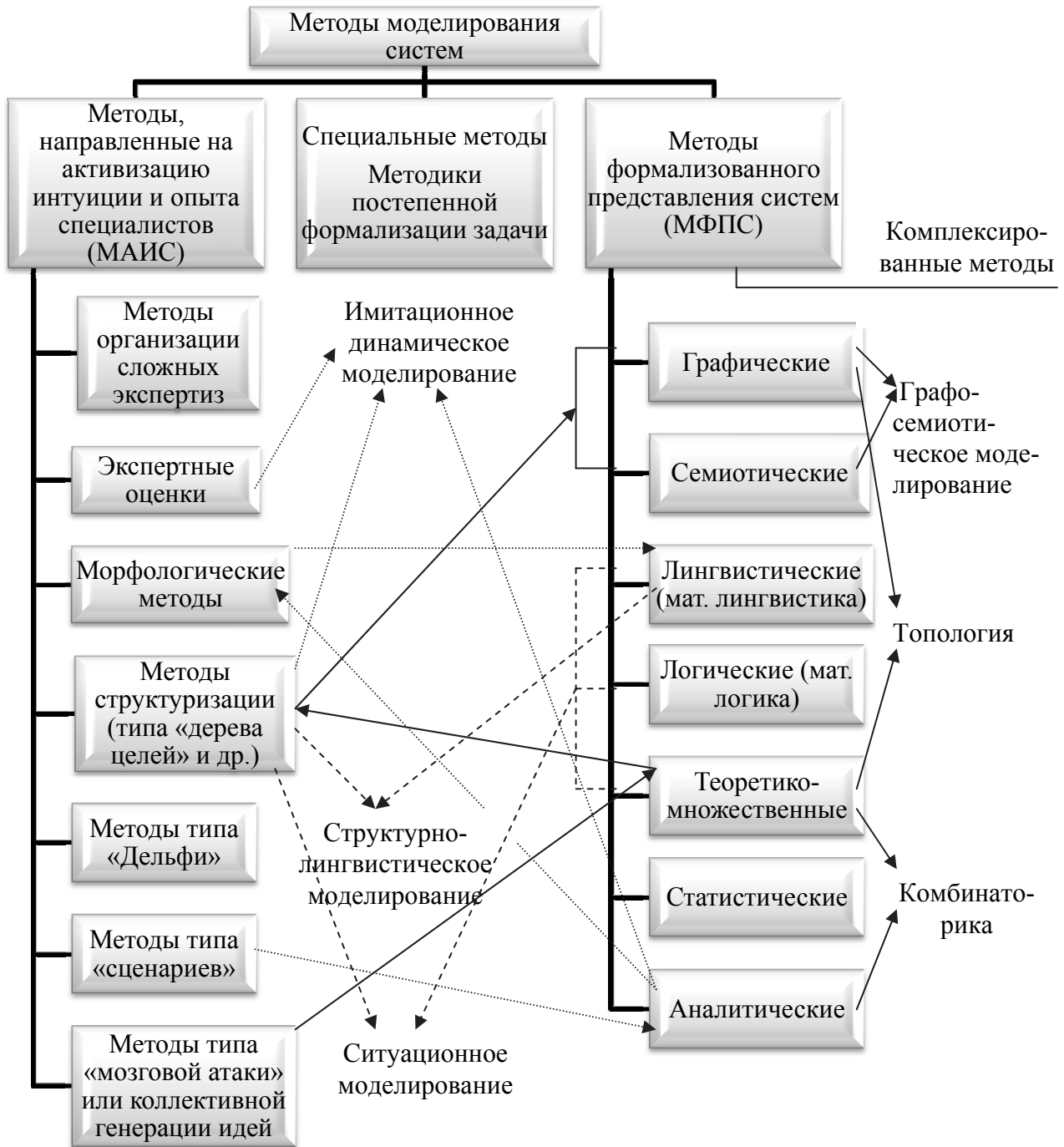


Рис. 2.2. Классификация методов моделирования систем

Такое разделение методов находится в соответствии с основной идеей системного анализа, которая состоит в сочетании в моделях и методиках формальных и неформальных представлений, что помогает в разработке

методик, выборе методов постепенной формализации отображения проблемной ситуации.

На рисунке в группе МАИС методы расположены сверху вниз примерно в порядке возрастания возможностей формализации, а в группе МФПС – сверху вниз возрастает внимание к содержательному анализу проблемы и появляется все больше средств для такого анализа. Такое упорядочение помогает сравнивать методы и выбирать их при формировании развивающихся моделей принятия решений, при разработке системного анализа.

Новые методы моделирования часто создаются на основе сочетания ранее существовавших классов методов.

Так, методы, названные на рисунке *комплексированными* (комбинаторика, топология) начали развиваться параллельно в рамках линейной алгебры, теории множеств, теории графов, а затем оформились в самостоятельные направления.

Существуют также новые методы, базирующиеся на сочетании средств МАИС и МФПС (*специальные методы*).

Наибольшее распространение получили следующие специальные методы моделирования систем:

- *имитационное динамическое моделирование* (System Dynamic Symulation Modeling). Предложено Дж. Форрестером (США) в 50-х гг. XX в., является мощным инструментом исследования поведения реальных систем [4]. Методы имитационного моделирования позволяют собрать необходимую информацию о поведении системы путем создания ее компьютеризованной модели. Эта информация используется для проектирования систем. Имитационное моделирование не решает оптимизационных задач, а скорее представляет собой технику оценки значений функциональных характеристик моделируемой системы. Методы имитационного моделирования находят широкое применение в задачах, возникающих в процессе создания систем массового обслуживания, систем связи; в экономических и коммерческих задачах, включая оценки поведения потребителя, определение цен, экономическое прогнозирование деятельности фирм; в социальных и социально-психометрических задачах; в задачах анализа военных стратегий и тактик;
- *ситуационное моделирование* [5]. Идея предложена Д.А. Поспеловым, развита и реализована на практике Ю.И. Клыковым и Л.С. Загадской (Болотовой). Это направление базируется на отображении в памяти ЭВМ и анализе проблемных ситуаций с применением специализированного языка, разрабатываемого с помощью средств теории множеств, математической логики и теории языков;
- *структурно-лингвистическое моделирование*. Подход возник в 70-е гг. XX в. в инженерной практике и основан на использовании для реализации идей комбинаторики структурных представлений разного рода, с одной стороны, и средств математической лингвистики, с другой. В расширенном понимании подхода в качестве языковых (лингвистических) средств используются и другие методы дискретной математики, языки, основанные

на теоретико-множественных представлениях, на использовании средств математической логики, математической лингвистики, семиотики;

- *теория информационного поля и информационный подход к моделированию и анализу систем.* Концепция информационного поля предложена А.А. Денисовым и основана на использовании для активизации интуиции ЛПР законов диалектики, а в качестве средств формализованного отображения – аппарата математической теории поля и теории цепей. В основе этого подхода лежит отображение реальных ситуаций с помощью информационных моделей;
- *метод постепенной формализации задач и проблемных ситуаций с неопределенностью путем поочередного использования средств МАИС и МФПС.* Этот подход к моделированию самоорганизующихся (развивающихся) систем был первоначально предложен В.Н. Волковой на базе концепции структурно-лингвистического моделирования, но в последующем стал основой практически всех методик системного анализа.

Контрольные вопросы

1. Что такое логика? Назовите основные задачи и виды логики.
2. Какие существуют формы и виды мышления?
3. Что понимается под проблемой? Какие выделяют классы проблем?
4. Назовите этапы постановки проблемы.
5. Дайте определение научной гипотезы.
6. Что понимают под научной теорией?
7. Главная задача методологии системного анализа.
8. Какие есть классы методов моделирования систем?
9. Какие специальные методы моделирования систем получили наибольшее распространение?
10. Где применяются методы имитационного динамического моделирования?

3. ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В общем случае оценка сложных систем может проводиться для разных целей. Во-первых для оптимизации – выбора наилучшего алгоритма из нескольких, реализующих один закон функционирования системы. Во-вторых, для идентификации – определения системы, качество которой наиболее соответствует реальному объекту в заданных условиях. В-третьих, для принятия решений по управлению системой.

3.1. Основные типы шкал измерения

В основе оценки лежит процесс сопоставления значений качественных и количественных характеристик исследуемой системы значениям соответствующих шкал. Исследование характеристик привело к выводу о том, что все возможные шкалы принадлежат к одному из нескольких типов, определяемых перечнем допустимых операций на этих шкалах (табл. 3.1) [10].

Таблица 3.1

Шкала	Описание	Примеры
Номинальная (наименований или классификационная)	<p>Представляет собой конечный набор обозначений для никак не связанных между собой состояний (свойств) объекта.</p> <p>Здесь отсутствуют все главные атрибуты измерительных шкал, а именно упорядоченность, интервальность, нулевая точка.</p> <p>Измерение будет состоять в том, чтобы, проведя эксперимент над объектом, определить принадлежность результата к тому или иному состоянию и записать это с помощью символа (набора символов), обозначающего данное состояние.</p> <p>Это самая простая шкала из тех, что могут рассматриваться как измерительные, хотя фактически эта шкала не ассоциируется с измерением и не связана с понятием «величина». Она используется только с целью отличить один объект от другого</p>	Регистрационные номера автомобилей, официальных документов, номера на майках спортсменов, коды городов и т.п.
Порядка (ранговая)	<p>Применяется для измерения упорядочения объектов по одному или совокупности признаков.</p> <p>Места, занимаемые в шкале порядка, называются рангами, а сама шкала называется ранговой или неметрической.</p> <p>Порядковая шкала не имеет определенной количественной меры. При этом присутствует упорядоченность, но отсутствуют атрибуты интервальности и нулевой точки. В отличие от шкалы наименований шкала порядка позволяет не только установить факт равенства или неравенства измеряемых объектов, но и определить характер неравенства в виде суждений: «больше — меньше», «лучше — хуже» и т. п.</p> <p>Измерение в шкале порядка может применяться, например, в следующих ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> — когда необходимо упорядочить объекты во времени или 	<p>Нумерация очередности, призовые места в конкурсе, социально-экономический статус («низший класс», «средний класс», «высший класс»).</p> <p>Стандартная шкала твердости минералов Ф. Мооса.</p> <p>Балльная шкала силы ветра Ф. Бофорта.</p> <p>12-балльная шкала для оценки энергии сейсмических волн в зависимости от последствий прохождения их по данной территории Ч. Рихтера</p>

Шкала	Описание	Примеры
	<p>пространстве. Это ситуация, когда интересуются не сравнением степени выраженности какого-либо их качества, а лишь взаимным пространственным или временным расположением этих объектов;</p> <ul style="list-style-type: none"> – когда нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется производить его точное измерение; – когда какое-либо качество в принципе измеримо, но в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера 	
Интервалов	<p>Является количественной шкалой. Эта шкала применяется, когда упорядочивание значений измерений можно выполнить настолько точно, что известны интервалы между любыми двумя из них.</p> <p>В шкале интервалов присутствуют упорядоченность и интервальность, но нет нулевой точки. Шкалы могут иметь произвольные начала отсчета и масштаб</p>	<p>Измерение температуры по Фаренгейту (США) и Цельсию и Реомюра (Европа); шкала Кельвина в физике; календарное время, суставной угол (угол в локтевом суставе при полном разгибании предплечья может приниматься равным либо нулю, либо 180°) и др.</p>
Разностей	<p>Частным случаем интервальных шкал являются шкалы разностей: циклические (периодические) шкалы, шкалы, инвариантные к сдвигу. В такой шкале значение не изменяется при любом числе сдвигов.</p> <p>Соглашение о хотя и произвольном, но едином начале отсчета шкалы позволяет использовать показания в этой шкале как числа, применять к ним арифметические действия</p>	<p>В таких шкалах измеряется направление из одной точки (шкала компаса, роза ветров и т. д.), время суток (циферблат часов), фаза колебания (в градусах или радианах).</p>

Шкала	Описание	Примеры
Отношений	<p>Следующая по силе шкала.</p> <p>Измерения в такой шкале являются «полноправными» числами, с ними можно выполнять любые арифметические действия, здесь присутствуют все атрибуты измерительных шкал: упорядоченность, интервальность, нулевая точка.</p> <p>Величины, измеряемые в шкале отношений, имеют естественный, абсолютный нуль, хотя остается свобода в выборе единиц</p>	Вес, длина, электрическое сопротивление, деньги
Абсолютная	<p>Абсолютная (метрическая) шкала имеет и абсолютный нуль, и абсолютную единицу.</p> <p>В качестве шкальных значений при измерении количества объектов используются натуральные числа, когда объекты представлены целыми единицами, и действительные числа, если кроме целых единиц присутствуют и части объектов. Именно такими качествами обладает числовая ось, которую естественно называть абсолютной шкалой.</p> <p>Являются частным случаем всех ранее рассмотренных типов шкал, поэтому сохраняют любые соотношения между числами, оценками измеряемых свойств объектов: различие, порядок, отношение интервалов, отношение и разность значений и т. д.</p> <p>Важной особенностью абсолютной шкалы по сравнению со всеми остальными является отвлеченность (безразмерность) и абсолютность ее единицы. Указанная особенность позволяет производить над показаниями абсолютной шкалы такие операции, которые недопустимы для показаний других шкал, – употреблять эти показания в качестве показателя степени и аргумента логарифма</p>	<p>Абсолютные шкалы применяются, например, для измерения количества объектов, предметов, событий, решений и т. п.</p> <p>Примером абсолютной шкалы также является шкала температур по Кельвину</p>

Чем сильнее шкала, в которой производятся измерения, тем больше сведений об изучаемом объекте, явлении, процессе дают измерения. Однако применять более сильную шкалу опасно: полученные данные на самом деле не будут иметь той силы, на которую ориентируется их обработка. Лучше всего производить измерения в той шкале, которая максимально согласована с объективными отношениями, которым подчинена наблюдаемая величина. Можно измерять и в шкале, более слабой, чем согласованная, но это приведет к потере части полезной информации.

3.2. Методы формализованного представления систем (МФПС)

Существуют различные классификации МФПС [5]. Например, в большинстве первоначально применявшихся при исследовании систем классификаций выделяли *детерминированные* и *вероятностные* (статистические) методы или классы моделей, которые сформировались в конце прошлого столетия. Затем появились классификации, в которых в самостоятельные классы выделились *теоретико-множественные представления, графы, математическая логика* и некоторые новые разделы математики.

В таблице 3.2 кратко характеризуется классификация, предложенная Ф.Е. Темниковым (см. рис. 2.2), в которой выделяются следующие обобщенные группы (классы) методов: *аналитические; статистические; теоретико-множественные, логические, лингвистические, семиотические представления; графические.*

3.3. Экспертные методы системного анализа

Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (МАИС), называют также *экспертными методами системного анализа* (см. рис. 2.2).

3.3.1. Методы типа «мозговой атаки» или «коллективная генерация идей»

Концепция «мозговая атака» (автор метода А. Осборн (США)) получила широкое распространение с начала 50-х годов XX века как метод тренировки мышления, направленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления. Методы этого типа известны также под названиями «мозговой штурм», «конференция идей», «коллективная генерация идей» [2, 5, 7].

Обычно при проведении сессий коллективной генерации идей стараются выполнять определенные *правила*, суть которых:

- обеспечить как можно большую свободу мышления участников и высказывания ими новых идей;
- приветствовать любые идеи, даже если вначале они кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценка идей производится позднее);

Таблица 3.2

Название класса методов	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сфера и возможности применения
Аналитические методы	<p><i>Аналитическими</i> здесь названы методы, которые ряд свойств многомерной, многомерной системы отображают в n-мерном пространстве в виде одной единственной точки, совершающей какое-то движение. Можно также две (или более) системы или их части отобразить точками и рассматривать взаимодействие этих точек. Поведение точек, их взаимодействие описываются строгими соотношениями, имеющими силу закона.</p> <p>Основу терминологического аппарата составляют понятия классической математики (<i>величина, функция, уравнение, система уравнений, дифференциал, интеграл</i> и т. д.).</p> <p>На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности – от аппарата <i>классического математического анализа</i> (методов исследования экстремумов функций, вариационного исчисления и т. п.) до таких разделов современной математики, как <i>математическое программирование</i> (линейное, нелинейное, динамическое и т. п.), <i>теория игр</i> (матричные игры с чистыми стратегиями, дифференциальные игры и т. п.)</p>	<p>Применяются в тех случаях, когда свойства системы можно отобразить с помощью детерминированных величин или зависимостей, т. е. когда знания <i>о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить поведение их вне этого интервала</i>. Эти методы используются при решении задач движения и устойчивости, оптимального размещения, распределения работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения в конфликтных ситуациях и т. п.</p> <p>Математические теории, которые развиваются на базе аналитических представлений, явились основой ряда прикладных теорий (теории автоматического управления, теории оптимальных решений и др.).</p> <p>При практическом применении аналитических представлений для отображения сложных систем следует иметь в виду, что они требуют установления всех детерминированных взаимосвязей между учитываемыми компонентами и целями системы в виде аналитических зависимостей.</p> <p>Для сложных многокомпонентных, многокритериальных систем получить требуемые аналитические зависимости очень трудно. Более того, если даже это и удастся, то практически невозможно доказать правомерность применения этих аналитических выражений, т. е. адекватность модели рассматриваемой задаче</p>

Продолжение табл. 3.2

Название класса методов	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сфера и возможности применения
Статистические методы	<p>Статистическими методами называют отображение системы с помощью случайных (<i>стochastic</i>) событий, процессов, которые описываются соответствующими вероятностными (<i>статистическими</i>) характеристиками и <i>статистическими закономерностями</i>.</p> <p><i>Статистические</i> отображения системы в общем случае (по аналогии с аналитическими) можно представить как бы в виде «размытой» точки (размытой области, при этом границы области заданы с некоторой вероятностью) в n-мерном пространстве, и движение точки определяется некоторой случайной функцией. Закрепляя все параметры, кроме одного, можно показать воздействие данного параметра на поведение системы, что можно описать статистическим распределением по этому параметру. Аналогично можно получить двумерную, трехмерную и т. д. карты статистического распределения,</p> <p>На базе статистических представлений базируются теории <i>математической статистики</i>, <i>теории статистических испытаний</i> или <i>статистического имитационного моделирования</i> (частный случай – метод Монте-Карло), <i>теория выводов</i> и <i>проверки статистических гипотез</i>, <i>теория потенциальной помехоустойчивости</i>, <i>теория решающих функций</i>, <i>теория статистических решений</i></p>	<p>На базе статистических представлений возникли и развиваются прикладные направления: <i>статистическая радиотехника</i>, <i>статистическая теория распознавания образов</i>, <i>экономическая статистика</i>, <i>теория массового обслуживания</i>; а также развивающиеся из направлений, возникших на базе аналитических представлений, – <i>статистическое программирование</i>, новые разделы <i>теории игр</i> и др.</p> <p>Расширение возможностей отображения сложных систем и процессов по сравнению с аналитическими методами можно объяснить тем, что при применении статистических представлений процесс постановки задачи как бы частично заменяется статистическими исследованиями, позволяющими, не выявляя все детерминированные связи между изучаемыми событиями или учитываемыми компонентами сложной системы, на основе выборочного исследования (исследования репрезентативной выборки) получать статистические закономерности и распространять их с какой-то вероятностью на поведение системы в целом.</p> <p>Однако не всегда можно получить статистические закономерности, не всегда может быть определена представительная (репрезентативная) выборка, доказана закономерность применения статистических закономерностей. В ряде случаев для получения статистических закономерностей требуются недопустимо большие затраты времени, что также ограничивает возможность их с какой-то вероятностью применения</p>

Продолжение табл. 3.2

Название класса методов	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сфера и возможности применения
Теоретико-множественные представления	<p>Теоретико-множественные представления, предложенные Г. Кантором, базируются на понятиях: <i>множество</i>, <i>элементы множества</i> и <i>отношения</i> на множествах.</p> <p>Сложную систему можно отобразить в виде совокупности различных множеств и отношений между ними. В основе большинства теоретико-множественных преобразований лежит переход от одного способа задания множества к другому.</p> <p>В множестве могут быть выделены <i>подмножества</i>. Из двух и более множеств или подмножеств можно сформировать путем установления отношений между элементами этих множеств новое множество, обладающее принципиально новыми свойствами и, как правило, новое качество приобретают и элементы.</p> <p>Теоретико-множественные представления допускают введение любых произвольных отношений. При конкретизации применяемых отношений и правил их использования можно получить одну из <i>алгебр логики</i>, один из <i>формальных языков математической лингвистики</i>, можно также создать новый язык моделирования сложных систем</p>	<p>Благодаря тому, что при теоретико-множественных представлениях систем и процессов в них можно вводить любые отношения, эти представления; а) служат хорошим языком, с помощью которого облегчается взаимопонимание между представителями различных областей знаний; б) могут являться основой для возникновения новых научных направлений, для создания <i>языков моделирования, языков автоматизации</i> проектирования.</p> <p>Теоретико-множественные представления сыграли, в частности, большую роль в становлении <i>комбинаторики, топологии</i>, в разработке <i>теории «размытых» множеств</i> Л. Заде; на теоретико-множественных представлениях базируется вариант <i>математической теории систем</i> М. Месаровича.</p> <p>Однако свобода введения любых отношений приводит к тому, что в создаваемых языках моделирования трудно ввести правила, закономерности, используя которые формально, можно получить новые результаты, адекватные реально моделируемым объектам и процессам (как это позволяют делать аналитические и статистические методы). Поэтому первоначально при применении теоретико-множественных представлений стремились использовать ограниченный набор отношений. В общем же случае в языке могут появляться ситуации <i>парадоксов</i> или <i>антиномий</i>, что приводит к необходимости ограничения разнообразия отношений в создаваемых языках</p>

Продолжение табл. 3.2

Название класса методов	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сфера и возможности применения
Логические методы	<p><i>Логические</i> представления переводят реальную систему и отношения в ней на язык одной из <i>алгебр логики</i> (двухзначной, многозначной), основанных на применении алгебраических методов для выражения законов формальной логики. Наибольшее распространение получила бинарная алгебра логики Буля (булева алгебра).</p> <p>Алгебра логики оперирует понятиями: <i>высказывание, предикат, логические операции (логические функции, кванторы)</i>. В ней доказываются теоремы, приобретающие затем силу логических законов, применяя которые, можно преобразовать систему из одного описания в другое с целью ее совершенствования: например, получить более простую структуру (схему), содержащую меньшее число состояний, элементов, но осуществляющую требуемые функции. Теоремы доказываются и используются в рамках формального <i>логического базиса</i>, который определяется совокупностью специальных правил.</p> <p>Логические методы представления систем относятся к детерминистским, хотя возможно и их расширение в сторону вероятностных оценок.</p>	<p>Применяются при исследовании новых структур систем разнообразной природы (технических объектов, текстов и других), в которых характер взаимодействия между элементами еще не настолько ясен, чтобы было возможно их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых статистических закономерностей. В то же время следует иметь в виду, что с помощью логических алгоритмов можно описывать не любые отношения, а лишь те, которые предусмотрены законами алгебры логики и подчиняются требованиям логического базиса.</p> <p>Логические представления нашли широкое практическое применение при исследовании и разработке <i>автоматов</i> разного рода, <i>автоматических систем контроля</i>, а также при решении задачи <i>распознавания образов</i>. Логические представления лежат в основе <i>теории алгоритмов</i>. На их базе развиваются прикладные разделы <i>теории формальных языков</i>.</p> <p>В то же время смысловыражающие возможности логических методов ограничены базисом и функциями алгебры логики и не всегда позволяют адекватно отобразить реальную проблемную ситуацию. Попытки же создания многозначных алгебр логики на практике пока не находят широкого применения из-за сложности создания логического базиса и доказательства формальных теорем-законов многозначной алгебры логики</p>

Продолжение табл. 3.2

Название класса методов	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сфера и возможности применения
Лингвистические и семиотические представления	<p><i>Лингвистические</i> представления базируются на понятиях <i>тезауруса T</i> (множества смысловых элементов языка с заданными смысловыми отношениями, тезаурус характеризует структуру языка), <i>грамматики G</i> (правил образования словосочетаний элементов различных уровней тезауруса), <i>семантики</i> (смыслового содержания формируемых фраз, предложений и других смысло-выражающих элементов) и <i>прагматики</i> (смысл для данной задачи, цели).</p> <p><i>Семиотические</i> представления базируются на понятиях: <i>знак, знаковая система, знаковая ситуация. Семиотика</i> возникла как наука о знаках в широком смысле.</p> <p>Однако наиболее широкое практическое применение нашло направление <i>лингвистической семиотики</i>, которое наряду с основными понятиями семиотики (знак, знаковая система, треугольник Фреге и т. п.) широко используется некоторыми понятиями математической лингвистики (тезаурус, грамматика и т. п.). С теоретической точки зрения границу между лингвистическими и семиотическими представлениями при разработке языков моделирования можно определить характером правил грамматики (если правила не охватываются классификацией</p>	<p>Лингвистические и семиотические представления возникли и развиваются в связи с потребностями анализа текстов и языков. Однако в последнее время эти представления начинают широко применяться для отображения и анализа процессов в сложных системах в тех случаях, когда не удается применить сразу аналитические, статистические представления или методы формальной логики.</p> <p>В частности, лингвистические и семиотические представления являются удобным аппаратом (особенно в сочетании с графическими) для первого этапа постановки и формализации задач принятия решений в ситуациях с большой начальной неопределенностью, чем и был вызван возрастающий интерес к этим методам со стороны инженеров и разработчиков сложных систем.</p> <p>На их основе разрабатывают языки моделирования, автоматизации проектирования и т. д.</p> <p>Что касается недостатков методов, то при усложнении языка моделирования, при применении правил произвольных грамматик П. Хомского или правил лингвистической семиотики трудно гарантировать правильность полученных результатов, возникают проблемы алгоритмической разрешимости, возможно появление парадоксов, что зачастую может быть устранено с помощью содержательного контроля и корректировки языка на каждом шаге его расширения в диалоговом режиме моделирования.</p>

Название класса методов	Основная терминология и примеры теорий, возникших и развивающихся на базе соответствующего класса методов	Сфера и возможности применения
	<p>правил, то модель удобнее отнести к семиотической и применять принципы ее анализа, предлагаемые семиотикой).</p> <p>Для практических приложений модели лингвистических и семиотических представлений можно рассматривать как один класс МФПС</p>	<p>При этом разработчик языка моделирования не всегда может формально объяснить его возможности, происходит как бы «выраживание» языка, у которого появляются новые свойства, повышающие его смысловыражающие возможности</p>
Графические представления	<p>К графическим представлениям здесь отнесены любые графики (графики Ганта, диаграммы, гистограммы и т. п.) и возникшие на основе графических отображений теории (теория графов, теория сетевого планирования и управления и т. п.), т. е. все то, что позволяет наглядно представить процессы, происходящие в системах, и облегчить таким образом их анализ для человека (лица, принимающего решения)</p>	<p>Графические представления являются удобным средством исследования структур и процессов в сложных системах, средством взаимодействия человека и технических устройств (в том числе – ЭВМ).</p> <p>На основе сетевых структур возникли прикладные теории: PERT (методика оценки и контроля программ), теория сетевого планирования и управления. Удобным средством представления информации разного рода при применении всех групп методов являются графики, диаграммы и другие графические формы. Графически представляются результаты аналитических расчетов, статистические закономерности и т. д.</p> <p>Для ускорения формирования и анализа сетевых моделей графические представления удобно сочетать с лингвистическими и семиотическими (что позволяет автоматизировать процесс формирования модели).</p>

- не допускать критики любой идеи, не объявлять ее ложной и не прекращать обсуждение;
- желательно высказывать как можно больше идей, особенно нетривиальных.

Гипотеза заключается в предположении, что среди большого числа идей имеются, по меньшей мере, несколько хороших.

Метод «мозгового штурма» применяется при поиске решений в различных областях человеческой деятельности при недостатке информации; успешно применяется в области управления, бизнеса, экономики и др. Не утратил он значения и для коллективного решения изобретательских задач в различных областях техники, и в процессе обучения (для тренинга начинающих изобретателей).

Недостатки метода (и всех его разновидностей):

- огромное количество идей еще не гарантирует появления «гениальной идеи»;
- ввиду отсутствия аналитического этапа мозговой штурм вырабатывает яркие, оригинальные идеи, но не всегда стратегически правильные решения;
- предназначен для решения относительно простых задач.

Достоинства метода:

- легкость освоения и простота в обращении;
- незначительные затраты времени на проведение;
- универсальность метода.

3.3.2. Методы типа «сценариев»

Метод подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенные в письменном виде, получили название *сценария* [2, 5, 7].

Первоначально это метод предлагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возможные варианты решения проблемы, развернутые во времени. Однако требование временных координат позднее было снято, и *сценарием* стал называться любой документ, содержащий анализ рассматриваемой проблемы и предложения по ее решению или по развитию системы, независимо от того, в какой форме он представлен.

На практике по типу сценариев разрабатывались прогнозы в отраслях промышленности.

Роль специалистов по системному анализу при подготовке сценария –

- помочь привлекаемым ведущим специалистам соответствующих областей знаний выявить общие закономерности развития системы;
- проанализировать внутренние и внешние факторы, влияющие на ее развитие и формулирование целей;
- провести анализ высказываний ведущих специалистов в периодической печати, научных публикациях и других источниках научно-технической информации;

d) создать вспомогательные информационные фонды, способствующие решению соответствующей проблемы.

В последнее время понятие сценария расширяется в направлении как областей применения, так и форм представления методов их разработки: в сценарии вводятся количественные параметры и устанавливаются их взаимозависимости, предполагаются методики подготовки сценария с использованием ЭВМ, методики целевого управления подготовкой сценария.

3.3.3. Методы типа «Дельфи»

Метод Дельфи (предложен О. Хелмером) – итеративная процедура при проведении мозговой атаки, которая должна снизить влияние психологических факторов при проведении обсуждений проблемы и повысить объективность результатов [2, 5, 7]. В отличие от традиционных методов экспертной оценки метод Дельфи предполагает полный отказ от коллективных обсуждений.

Почти одновременно Дельфи-процедуры стали средством повышения объективности экспертных опросов с использованием количественных оценок при сравнительном анализе составляющих *деревьев целей* и при разработке *сценариев*.

Основные средства повышения объективности результатов при применении метода Дельфи – *использование обратной связи*, ознакомление экспертов с результатами предшествующего тура опроса и учет этих результатов при оценке значимости мнений экспертов.

Процедура Дельфи-метода заключается в следующем:

- 1) организуется последовательность циклов «мозговой атаки»;
- 2) разрабатывается программа последовательных индивидуальных опросов с помощью вопросников, исключая контакты между экспертами, но предусматривающая ознакомление их с мнениями друг друга между турами; вопросники от тура к туру могут уточняться;
- 3) в наиболее развитых методиках экспертам присваиваются весовые коэффициенты значимости их мнений, вычисляемые на основе предшествующих опросов, уточняемые от тура к туру и учитываемые при получении обобщенных результатов оценок.

Достоинства метода:

- метод Дельфи способствует выработке независимости мышления членов группы;
- обеспечивает спокойное и объективное изучение проблем, которые требуют оценки.

Недостатки метода:

- чрезмерная субъективность оценок;
- требует достаточно много времени на проведение экспертизы и организационных усилий.

3.3.4. Методы структуризации

Методы (методики) структуризации – принципы и приемы расчленения сложных систем с большой неопределенностью на более обозримые части (подсистемы, компоненты, процессы), лучше поддающиеся исследованию [5, 7].

«Дерево целей» – вид структуры целей. Термин был введен У. Черчменом, который предложил *метод дерева целей* в связи с проблемами принятия решений в промышленности.

Термин «дерево» подразумевает формирование иерархической структуры, получаемой путем расчленения общей цели на подцели, а их – на более детальные составляющие, для наименования которых в конкретных приложениях используют разные названия: *направления, проблемы, программы, задачи*, а начиная с некоторого уровня – *функции*.

Такая процедура получила в последующем название *структуризации* цели.

Термин «дерево целей» в конкретных приложениях заменяют более удобным для этих приложений терминами: в ситуациях принятия решений применяют термин «дерево решений»; при выявлении и уточнении функций системы управления говорят о «дереве целей и функций»; при структуризации тематики научно-исследовательской организации пользуются термином «дерево проблемы», а при разработке прогнозов – «прогнозный граф».

Поэтому в настоящее время более распространено понятие – методы *типа* «дерева целей».

Метод «дерево целей» ориентирован на получение полной и относительно устойчивой структуры целей, проблем, направлений, т. е. такой структуры, которая на протяжении какого-то периода времени мало изменялась бы при неизбежных изменениях, происходящих в любой развивающейся системе.

3.3.5. Морфологические методы

Термин *морфология* в биологии и языкознании определяет учение о внутренней структуре исследуемых систем (организмов, языков) или сама внутренняя структура этих систем.

Методы морфологического анализа сложных проблем были разработаны швейцарским астрономом (венгром по происхождению) Ф. Цвикки.

В дальнейшем Ф. Цвикки создал еще несколько методов: систематического покрытия поля; отрицания и конструирования; экстремальных ситуаций; сопоставления совершенного с дефектным и метод обобщения. Но все эти методы могут рассматриваться как дополнения к морфологическому ящику, наиболее универсальному и перспективному методу, основанному на морфологическом подходе.

Основная идея морфологических методов состоит в систематическом переборе всех мыслимых вариантов решения проблемы или развития системы путем комбинирования выделенных элементов или их признаков [2, 5].

Метод морфологического ящика основан на формировании и анализе морфологической таблицы – морфологического ящика. Построение и исследование морфологического ящика по Цвикки проводится в пять этапов:

- 1) точная формулировка проблемы;
- 2) определение всех параметров, которые бы могли войти в решение заданной проблемы;
- 3) конструирование морфологического ящика или многомерной матрицы, содержащей все решения заданной проблемы;
- 4) оценка и анализ с точки зрения целей, которые должны быть достигнуты, всех решений, содержащихся в морфологическом ящике;
- 5) выбор наилучшего решения.

Предложенные Ф. Цвикки методы нашли широкое применение как средство активизации изобретательской деятельности.

3.3.6. Экспертные оценки

Группа методов экспертных оценок наиболее часто используется в практике оценивания сложных систем на качественном уровне [5, 7]. Термин «эксперт» происходит от латинского слова *expert* – «опытный».

При использовании экспертных оценок обычно предполагается, что мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта (при соблюдении определенных требований: распределение оценок, полученных от эксперта, должно быть «гладким»; две групповые оценки, данные двумя одинаковыми подгруппами, выбранными случайным образом, должны быть близки).

Все множество проблем, решаемых методами экспертных оценок, делится на *два класса*:

- 1) проблемы, в отношении которых имеется достаточное обеспечение информацией. При этом методы опроса и обработки основываются на использовании принципа «хорошего измерителя», т. е. эксперт – источник достоверной информации; групповое мнение экспертов близко к истинному решению;
- 2) проблемы, в отношении которых знаний для уверенности в справедливости указанных гипотез не достаточно. В этом случае экспертов нельзя рассматривать как «хороших измерителей» и необходимо осторожно подходить к обработке результатов экспертизы.

Экспертные оценки несут в себе как узко субъективные черты, присущие каждому эксперту, так и коллективно-субъективные, присущие коллегии экспертов. Первые устраняются в процессе обработки индивидуальных экспертных оценок, вторые не исчезают, какие бы способы обработки не применялись.

Этапы экспертизы: формирование цели; разработка процедуры экспертизы; формирование группы экспертов; опрос; анализ и обработка информации.

К наиболее употребительным *процедурам экспертных измерений* относятся: ранжирование; парное сравнение; множественные сравнения; непосредственная

оценка; метод Черчмена-Акоффа; метод Терстоуна; метод фон Неймана-Моргенштерна.

Ранжирование. Метод представляет собой процедуру упорядочения объектов, выполняемую экспертом. На основе знаний и опыта эксперт располагает объекты в порядке предпочтения, руководствуясь одним или несколькими выбранными показателями сравнения. В зависимости от вида отношений между объектами возможны различные варианты упорядочения объектов. *Достоинство* ранжирования как метода экспертного измерения – простота осуществления процедур, не требующая трудоемкого обучения экспертов. *Недостатком* ранжирования является практическая невозможность упорядочения большого числа объектов.

Парное сравнение. Этот метод представляет собой процедуру установления предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар. В отличие от ранжирования, в котором осуществляется упорядочение всех объектов, парное сравнение объектов является более простой задачей. При сравнении пары объектов возможно либо отношение строго порядка, либо отношение эквивалентности. Отсюда следует, что парное сравнение, так же как и ранжирование, есть измерение в порядковой шкале.

Множественные сравнения. Отличаются от парных тем, что экспертам последовательно предъявляются не пары, а тройки, четверки, ..., n -ки объектов. Эксперт их упорядочивает по важности или разбивает на классы в зависимости от целей экспертизы. Множественные сравнения занимают промежуточное положение между парными сравнениями и ранжированием.

Непосредственная оценка. Метод заключается в присваивании объектам числовых значений в шкале интервалов. Эксперту необходимо поставить в соответствие каждому объекту точку на определенном отрезке числовой оси. При этом необходимо, чтобы эквивалентным объектам приписывались одинаковые числа.

Метод Черчмена-Акоффа (последовательное сравнение). Этот метод относится к числу наиболее популярных при оценке альтернатив. В нем предполагается последовательная корректировка оценок, указанных экспертами. Метод можно использовать при измерениях в шкале отношений.

Метод Терстоуна. Метод заключается в построении одномерной шкалы. Шкала (предложена Л. Терстоуном) строится на основании предварительных измерений шкальных значений набора суждений, отражающих различную степень выраженности измеряемых социально-психологических характеристик респондентов.

Метод фон Неймана-Моргенштерна. Метод заключается в получении численных оценок альтернатив с помощью так называемых вероятностных смесей.

Целесообразность применения того или иного метода во многом определяется характером анализируемой информации. Если оправданы лишь качественные оценки объектов по некоторым качественным признакам, то используются методы ранжирования, парного и множественного сравнения.

Если характер анализируемой информации таков, что целесообразно получить численные оценки объектов, то можно использовать какой-либо метод численной оценки, начиная от непосредственных численных оценок и кончая более тонкими методами Терстоуна и фон Неймана-Моргенштерна.

Процедуры экспертных измерений обладают различными качествами, но приводят в общем случае к близким результатам. Практика применения этих методов показала, что наиболее эффективно комплексное применение различных методов для решения одной и той же задачи. Сравнительный анализ результатов повышает обоснованность делаемых выводов. При этом следует учитывать, что методом, требующим минимальных затрат, является ранжирование, а наиболее трудоемким – метод последовательного сравнения (Черчмена-Акоффа). Метод парных сравнений без дополнительной обработки не дает полного упорядочения объектов.

3.3.7. Методы организации сложных экспертиз

Методы организации сложных экспертиз – это методы и модели, повышающие объективность получения оценок путем расчленения большой первоначальной неопределенности проблемы, предлагаемой эксперту для оценки, на более мелкие, лучше поддающиеся осмыслению.

В качестве простейшего из этих методов может быть использован метод усложненной экспертной процедуры, предложенной в *методике ПАТТЕРН*, в которой выделяются группы критериев оценки и рекомендуются ввести весовые коэффициенты критериев. Введение критериев позволяет организовать опрос экспертов более дифференцированно, а весовые коэффициенты повышают объективность результирующих оценок.

Развитием этого метода является введение коэффициентов компетентности экспертов и различные методы совершенствования обработки оценок, даваемых разными экспертами по разным критериям.

В качестве второго метода организации сложных экспертиз можно использовать *метод решающих матриц*. Идея метода была предложена Г.С. Поспеловым как средство стратифицированного расчленения проблемы с большой неопределенностью на подпроблемы и пошагового получения оценок. В последующем были разработаны модификации метода решающих матриц.

Третью группу составляют *модели (методы) организации сложных экспертиз, основанные на использовании информационного подхода* (разработка СПбГТУ для решения ряда прикладных задач).

Методы и модели этой группы базируются на использовании *методов структуризации и информационного подхода к анализу систем*. Структуризация помогает расчленить большую неопределенность на более обозримые, что способствует повышению объективности и достоверности анализа. Информационный подход позволяет оценивать последовательно степень целесообразности анализируемых составляющих, т. е. влияние составляющих нижележащих уровней стратифицированной модели на вышестоящей.

Разработаны три вида методов этой группы:

- 1) *методы оценки степени соответствия анализируемых составляющих исследуемых систем по разнородным качественным критериям, позволяющие получать обобщенную оценку в многокритериальных задачах с разнородными критериями.* Применяются для сравнительного анализа нововведений, корпоративных информационных систем (КИС), при выборе КИС для конкретной организации, проектов при формировании «портфеля заказов» в НПО и т. п.;
- 2) *методы сравнительного анализа сложных систем в течение определенного начального периода их проектирования (внедрения, развития) путем сопоставления изменения информационных оценок во времени.* Применяются для сравнительного анализа разнородных нововведений, технических комплексов, проектов и т. п., позволяя принимать решение о целесообразности продолжения их внедрения, разработки, дальнейшего инвестирования и т. п.;
- 3) *методы оценки ситуаций, описываемых информационными уравнениями в статике и динамике.* Применяются при проведении маркетинговых исследований, анализе рыночных ситуаций с учетом взаимного влияния товаров, сравнительного анализа проектов с учетом взаимовлияния в процессе проектирования и др.

3.4. Методики системного анализа

Методика системного анализа разрабатывается и применяется в тех случаях, когда у лиц, принимающих решение, на начальном этапе нет достаточных сведений о системе или проблемной ситуации, позволяющих выбрать метод формализованного представления или применить один из новых подходов к моделированию, сочетающих качественные и количественные приемы [5].

В таких случаях может помочь представление объекта в виде системы, организация процесса коллективного принятия решений с привлечением специалистов различных областей знаний, с использованием разных МФПС и МАИС, со сменой методов по мере познания объекта (ситуации).

Для того чтобы организовать такой процесс, нужно определить последовательность этапов, рекомендовать методы для выполнения этих этапов, предусмотреть при необходимости возврат к предыдущим этапам. Такая последовательность определенным образом выделенных и упорядоченных этапов и подэтапов с рекомендованными методами и приемами их выполнения представляет собой *структуру методики*.

Универсальным средством методологии системного исследования является четкое выделение пяти логических элементов в процессе исследования любых систем, подсистем и других элементов [6]. Как указывает Ч. Хитч, бывший помощник министра обороны США, возглавлявший внедрение системного анализа в военных ведомствах, к ним относятся:

- цель или ряд целей;

- альтернативные средства (или системы), с помощью которых может быть достигнута цель;
- затраты ресурсов, требуемых для каждой системы;
- математическая и логическая модели, каждая которых есть система связей между целями, альтернативными средствами их достижения, окружающей средой и требованиями на ресурсы;
- критерий выбора предпочтительной альтернативы, с его помощью сопоставляют некоторым способом цели и затраты, например путем максимального достижения цели при некотором запрашиваемом или заранее заданном бюджете.

В таблице 3.4 представлены примеры выделения этапов системного анализа.

Таблица 3.4

Этапы методик системного анализа			
По С.Л. Оптнеру	По С. Янгу	По Н.П. Федоренко	По С.П. Никонорову
1. Определение актуальности проблемы. 2. Определение целей. 3. Определение структуры технической системы и ее дефектов. 4. Определение возможностей. 5. Нахождение альтернатив. 6. Оценка альтернатив. 7. Выработка решения. 8. Признание решения. 9. Запуск решения. 10. Управление реализацией решения. 11. Оценка реализации и ее последствий	1. Определение целей организации. 2. Выявление проблемы. 3. Диагностика (определение, распознавание) 4. Поиск решения. 5. Оценка и выбор альтернатив. 6. Согласование решения. 7. Утверждение решения. 8. Подготовка к вводу в действие. 9. Управление применением решения. 10. Проверка эффективности	1. Формулирование проблемы. 2. Определение целей. 3. Сбор информации. 4. Разработка максимального количества альтернатив. 5. Отбор альтернатив. 6. Построение модели в виде уравнений, программ или сценария. 7. Оценка затрат. 8. Испытание чувствительности решения (параметрическое исследование)	1. Обнаружение проблемы. 2. Оценка актуальности проблемы. 3. Анализ ограничений проблемы. 4. Определение критериев. 5. Анализ существующей системы. 6. Поиск возможностей (альтернатив). 7. Выбор альтернативы. 8. Обеспечение признания. 9. Принятие решения (принятие формальной ответственности). 10. Реализация решения. 11. Определение результатов решения

Для каждого этапа выбираются методы и модели системного анализа с учетом конкретных условий и предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР). Например, на этапе анализа проблемы возможно использование методов «сценариев», диагностических, «дерева целей», экономического анализа; на этапе анализа структуры системы – диагностических методы, матричные, сетевые, морфологические, кибернетические модели.

Таким образом, методика системного анализа разрабатывается для того, чтобы организовать процесс принятия решений в сложных проблемных ситуациях. Она должна ориентировать ЛПР на необходимость обоснования полноты формирования и исследования модели принятия решения, адекватно отображающей рассматриваемый объект или процесс. В методике следует предусмотреть возможность выбора методов моделирования, охарактеризовав их возможности.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей проводится оценка сложных систем?
2. Какие существуют типы шкал? Когда они применяются?
3. Назовите группы методов формализованного представления систем. Сфера и возможности применения этих методов.
4. Изложите основные правила «мозгового штурма».
5. Какие методы относятся к методам типа сценариев? Где на практике применяются эти методы?
6. В чем состоит сущность метода экспертных оценок?
7. Назовите области применения методов экспертных оценок.
8. Какова суть метода Дельфи? Достоинства и недостатки метода.
9. Что представляют собой методы морфологического анализа?
10. К какой группе методов относится методика ПАТТЕРН?
11. Что такое методика системного анализа? Когда она разрабатывается и применяется?
12. Назовите этапы методик системного анализа по С.Л. Оптнеру, по С. Янгу, По Н.П. Федоренко, по С.П. Никанорову.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системном анализе находят органичное объединение теория и практика, наука и искусство, творческий подход и алгоритмичность действий, формализация и эвристика. В конкретном исследовании соотношение между этими компонентами может быть различным.

Системный аналитик должен быть готов привлечь к разрешению проблемной ситуации любые необходимые знания и методы. В случае, если он сам не владеет какими-то процедурами, он должен найти исполнителя и выступать в качестве организатора исследования, носителя цели и методологии выполнения всех работ [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
2. Антонов, А.В. Системный анализ. Учебник для вузов / А.В. Антонов. М.: Высш. шк., 2004. – 454 с.
3. Малин, А.С., Мухин, В.И. Исследование систем управления: Учебник для вузов. – М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 400с.
4. Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
5. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш. шк., 2004. – 616 с.
6. Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособие / В.Н. Спицнадель. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
7. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении; учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под. ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.
8. Горелик, О.М. Системный анализ в сфере сервиса / О.М. Горелик, С.Б. Волохин. – Тольятти: Изд. ПТИС, 2000. – 140 с.
9. Тырсин, А.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / А.Н. Тырсин. – Челябинск: УрСЭИ АТиСО, 2001. – 128 с.
10. Измерительные шкалы. – <http://e-educ.ru/tsisa20.html>.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	
1.1. Системность – общее свойство материи	3
1.2. Основные понятия системного анализа	6
1.3. Задачи системного анализа	8
1.4. Принципы системного анализа	9
1.5. Области применения системного анализа	11
1.6. Определение системы	11
1.7. Понятие модели системы	12
1.8. Основные признаки системы	14
1.9. Понятия, характеризующие строение и функционирование систем	15
1.10. Классификация систем	17
Контрольные вопросы	20
2. ЛОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	
2.1. Логические основы системного анализа	20
2.2. Методология познания	24
2.3. Классификация методов и моделей системного анализа	25
Контрольные вопросы	28
3. ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	
3.1. Основные типы шкал измерения	28
3.2. Методы формализованного представления систем (МФПС)	32
3.3. Экспертные методы системного анализа	32
3.3.1. Методы типа «мозговой атаки» или «коллективная генерация идей»	32
3.3.2. Методы типа «сценариев»	39
3.3.3. Методы типа «Дельфи»	40
3.3.4. Методы структуризации	41
3.3.5. Морфологические методы	41
3.3.6. Экспертные оценки	42
3.3.7. Методы организации сложных экспертиз	44
3.4. Методики системного анализа	45
Контрольные вопросы	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	48

Учебное издание

Прохорова Ирина Арнольдовна

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 25.12.2013. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 3,02. Тираж 30 экз. Заказ 753/562.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.