

В.Н. ЧЕРНЫШОВ

А.В. ЧЕРНЫШОВ

**ТЕОРИЯ
СИСТЕМ И
СИСТЕМНЫЙ
АНАЛИЗ**

◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

В.Н. ЧЕРНЫШОВ, А.В. ЧЕРНЫШОВ

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области прикладной информатики
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности
080801 «Прикладная информатика» и другим экономическим специальностям*



Тамбов
Издательство ТГТУ
2008

УДК 303.732(075)
ББК z973-018.3я73
Ч-497

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Передающие и приёмные радиоустройства»
Тамбовского высшего военного авиационного инженерного
училища радиоэлектроники

П.А. Федюнин

Доктор технических наук, профессор
Тамбовского государственного технического университета

А.А. Чуриков

Чернышов, В.Н.

Ч-497 Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с. – 150 экз. – ISBN 978-5-8265-0766-7.

Рассматриваются основные понятия теории систем и системного анализа, определено их место среди других научных направлений. Особое место занимают вопросы, связанные с моделированием систем, определением понятия модели и моделирования, рассмотрены виды моделей и уровни моделирования, а также целевое назначение моделей. Подробно приводится классификация методов моделирования систем, а также применение моделей при анализе систем.

Большой объём работы посвящён системному анализу: определению системного анализа, его характеристикам и особенностям, основным процедурам системного анализа. Очень подробно рассмотрены вопросы целей системного анализа и генерирования альтернатив при решении системных задач.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 080801 «Прикладная информатика в юриспруденции» всех форм обучения.

УДК 303.732(075)
ББК z973-018.3я73

ISBN 978-5-8265-0766-7

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

ЧЕРНЫШОВ Владимир Николаевич,
ЧЕРНЫШОВ Алексей Владимирович

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Редактор О.М. Гурьянова
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкova

Подписано в печать 26.12.2008.
Формат 60 × 84/16. 5,58 усл. печ. л.
Тираж 150 экз. Заказ № 601

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

В связи с тем что теория систем и развившиеся на её основе прикладные направления – относительно новые научные направления, имеющиеся учебники и учебные пособия по этой тематике ориентированы в большинстве своём на конкретные специальности, и нередко вводимые в них понятия и определения базируются на терминологии предшествовавших теории систем междисциплинарных направлений – кибернетики, исследования операций, теории принятия решений. В то же время при подготовке специалистов целесообразно иметь основное ядро общепризнанных в этой области понятий, а для этого нужно не только знакомить студентов, аспирантов и исследователей с различными точками зрения, неизбежными в развивающемся научном направлении, но и давать их в сопоставлении, так как сравнительный анализ способствует выбору эффективных методов и средств системного исследования, в большей мере соответствующих конкретным специальностям.

Особенно востребованы в настоящее время теория систем и системный анализ при управлении предприятиями и организациями, при решении правовых вопросов, возникающих при решении такой задачи.

Управление организацией – сложная проблема, требующая участия специалистов различных областей знаний. По мере усложнения производственных процессов и развития наукоёмких технологий появились проблемы с большой начальной неопределённостью проблемной ситуации. В таких задачах всё большее место стал занимать собственно процесс постановки задачи, возросла роль лица, принимающего решение, роль человека как носителя системы ценностей, критериев принятия решения, целостного восприятия.

С целью решения таких задач вначале стали разрабатывать новые разделы математики; оформилась в качестве самостоятельной прикладная математика, приближающая математические методы к практическим задачам; возникло понятие, а затем и направление «принятие решений», которое постановку задачи признает равноценным этапом её решения.

В ходе решения подобных комплексных проблем широко используются понятия «система», «системный подход», «системный анализ». На определённой стадии развития научного знания теория систем оформилась в самостоятельную науку. В 30-е гг. XX в. возникла теория открытых систем Л. фон Берталанфи, имеющая большое значение для управления социально-экономическими объектами. Важный вклад в становление системных представлений внес в начале XX в. А.А. Богданов, предложивший всеобщую организационную науку – тектологию.

Обобщающие, междисциплинарные научные направления, занимающиеся исследованием сложных систем и носящие различные наименования, исторически иногда возникали параллельно, на разной прикладной или теоретической основе. Поэтому появилась потребность в упорядочении понятий и терминов, используемых при проведении системных исследований.

Теория систем изучает общие законы функционирования систем, классификации систем и их роль в выборе методов моделирования конкретных объектов. Потребности практики почти одновременно со становлением теории систем привели к возникновению направления, названного исследованием операций. В 60-е гг. XX в. широкое распространение получили термины «системотехника», «системный подход», «системология», применительно к задачам управления – термин «кибернетика», которые в последующем стали объединять термином «системные исследования». Возник ряд родственных направлений – «имитационное моделирование», «ситуационное управление», «структурно-лингвистическое моделирование», «информационный подход» и др.

Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается системный анализ, занимающийся применением методов и моделей теории систем для практических её приложений к задачам управления.

Важная функция системного анализа – работа с целями, организация процесса целеобразования, т.е. исследование факторов, влияющих на цель, формулирование, структуризация или декомпозиция обобщающей цели. При этом разработка методики и выбор методов и приёмов выполнения её этапов базируются на использовании понятий и закономерностей теории систем.

Интерес к системным представлениям проявлялся не только как к удобному обобщающему понятию, но и как к средству постановки задач с большой неопределённостью.

По мере усложнения производственных процессов, развития науки, проникновения в тайны функционирования и развития живых организмов появились задачи, которые не решались с помощью традиционных математических методов и в которых всё большее место стал занимать собственно процесс постановки задачи, возросла роль эвристических методов, усложнился эксперимент, доказывающий адекватность формальной математической модели.

Системные представления стали включаться в той или иной форме в учебный процесс вузов, и в настоящее время междисциплинарные курсы «Теория систем», «Системный анализ», «Системология» и т.п. входят в учебные планы различных специальностей – технических, экономических, гуманитарных.

1. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ

1.1. РАЗВИТИЕ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

В современном обществе системные представления уже достигли такого уровня, что мысли о важности и полезности системного подхода к решению всех проблем являются привычной или общепринятой. Не только учёные, но и инженеры, и педагоги, юристы и деятели культуры обнаружили системность в своей деятельности и стараются свою работу осознанно систематизировать. Чем выше степень системности (в решении проблем), тем эффективнее решение любых практических задач. Мышление тоже системно, поэтому системность появилась не во второй половине XX в., а значительно раньше, как только человек начал мыслить.

Словосочетание, например, «солнечная система», «нервная система», «система уравнений» и т.д. означают, что общее у них – это системность.

Практическая деятельность человека носит системный характер. Человек – это активная часть природы. Добиваясь своих целей, человек использует природу, воздействует на неё, преобразует и т.д. Если рассматривать практическую деятельность человека, то она тоже системна. Обязательными признаками практической деятельности человека являются:

- 1) структурированность;
- 2) взаимосвязанность составных частей системы;
- 3) подчиненность организации всей системы определённой цели.

Роль системных представлений в практике постепенно увеличивается, растёт системность человеческой деятельности. Проследить усложнение системных представлений человеческой деятельности можно на примере проблемы повышения производительности труда (рис. 1.1).

Первый способ повышения эффективности труда – механизация. Механизация – использование простейших орудий и приспособлений, машин для выполнения каких-либо производственных операций (повышает производительность труда в 5 – 7 раз). Работой механизма всегда управляет человек.

Второй этап повышения производительности труда человека связан с автоматизацией. Основная её задача – это исключить участие человека из конкретного производственного процесса, т.е. возложить на машину выполнение не только самой работы, но и управление этими процессами.

Третий уровень системности практической деятельности человека связан с кибернетизацией (интеллектуализация производства). Основным отличием от предыдущих уровней является использование интеллекта.



Рис. 1.1. Схема этапов повышения производительности труда

Он позволяет ориентироваться в незнакомых ситуациях, решать вновь возникшие задачи, не поддающиеся формализации, и решать задачи, которые не могут решить автоматизированные системы. Здесь используется как естественный человеческий интеллект, либо создаётся искусственный интеллект.

Природная системность человеческой практики является одним из объективных факторов возникновения и развития системных понятий и теорий. Естественный рост системности человеческой деятельности сопровождается усовершенствованием и развитием этой системности, причём этот процесс носит ускорительный характер. Роль знания и соблюдения принципов системности на практике возрастает.

Если рассмотреть объективные причины развития системных представлений, то можно выяснить, что системность присуща не только любой практической деятельности человека, но и человеческому мышлению и познавательным процессам. Кроме того, системность – это не только свойство человеческой деятельности или практики, но и свойство всей материи вообще, т.е. системности всей вселенной.

Системность является настолько присущей материи, что её можно назвать формой существования материи. Известные формы существования материи – время, пространство, движение, структурированность и т.д. – тоже системны.

1.2. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ

Существует множество определений понятия системы. Рассмотрим те из них, которые наиболее полно раскрывают существенные свойства данного понятия.

«Система представляет собой определённое множество взаимосвязанных элементов, образующих устойчивое единство и целостность, обладающее интегральными свойствами и закономерностями» [12].

Более полное и содержательное общее определение описывает систему «как набор объектов, имеющих данные свойства, и набор связей между объектами и их свойствами» [22].

«Системой можно назвать только такой комплекс избирательно-вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношение приобретает характер взаимодействия компонентов на получение фокусированного полезного результата» [3].

Рассмотрим некоторые характерные моменты этого определения:

- «...только такой комплекс избирательно-вовлеченных компонентов...» – это значит, что, во-первых, не все компоненты объекта могут стать элементами системы, и, во-вторых, существует некоторая причина такой избирательности;
- «...у которых взаимодействие и взаимоотношения приобретают характер взаимодействия компонентов...» – академик П.К. Анохин утверждает, что в определении системы важна не вообще совокупность взаимодействующих компонентов, а совокупность «взаимодействующих» для достижения чего-то конкретного и определённого;
- «...на получение фокусированного результата» – в определение вводится понятие системообразующего фактора.

Причины образования системы являются узловыми в системной теории. Само вовлечение компонентов в систему или выбор их из имеющегося множества происходит до и в процессе формирования цели на основе исходной потребности. Таким образом, потребность есть причинный системообразующий фактор, а цель – функциональный фактор.

Мы будем использовать понятие системы, которое учитывает такие важные составляющие любого материального объекта, как элемент, связь, взаимодействие, целеполагание (рис. 1.2).

Элемент – это составная часть сложного целого. В нашем случае сложное целое – система, которая представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов.

Элемент – неделимая часть системы, обладающая самостоятельностью по отношению к данной системе. Неделимость элемента рассматривается как нецелесообразность учёта в пределах модели данной системы его внутреннего строения.

Сам элемент характеризуется только его внешними проявлениями в виде связей и взаимосвязей с остальными элементами.

Множество A элементов системы можно описать в виде

$$A = \{a_i\}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1.1)$$

где a_i – i -й элемент системы; n – число элементов в системе.

Каждый a_i элемент характеризуется m конкретными свойствами Z_{i1}, \dots, Z_{im} (вес, температура и т.д.), которые определяют его в данной системе однозначно.

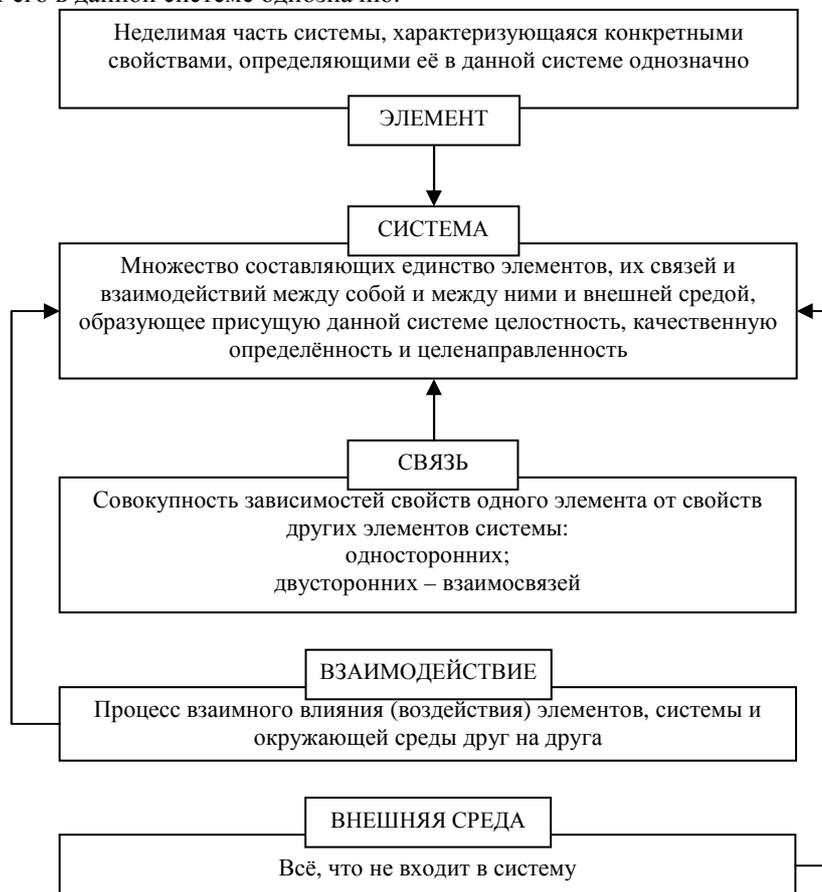


Рис. 1.2. Схема компонентов системы

Совокупность всех m свойств элемента a_i будем называть состоянием элемента Z_i

$$Z_i = (Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3}, \dots, Z_{ik}, \dots, Z_{im}). \quad (1.2)$$

Состояние элемента, в зависимости от различных факторов (времени, пространства, внешней среды и т.д.) может изменяться. Последовательные изменения состояния элемента будем называть движением элемента.

Связь – совокупность зависимостей свойств одного элемента от свойств других элементов системы. Установить связь между двумя элементами – это значит выявить наличие зависимостей их свойств.

Множество Q связей между элементами a_i и a_j можно представить в виде

$$Q = \{q_{ij}\}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (1.3)$$

Зависимость свойств элементов может иметь односторонний и двусторонний характер. Двусторонняя зависимость свойств одного элемента от свойств других элементов системы называется взаимосвязью.

Взаимодействие – совокупность взаимосвязей и взаимоотношений между свойствами элементов, когда они приобретают характер взаимосодействия друг другу.

Структура системы – совокупность элементов системы и связей между ними в виде множества

$$D = \{A, Q\}. \quad (1.4)$$

Структура является статической моделью системы и характеризует только строение системы, не учитывая множества свойств (состояний) её элементов. Система существует среди других материальных объектов, которые не вошли в неё. Они объединяются понятием «внешняя среда» – объекты внешней среды. По сути дела, очерчивание или выявление системы есть разделение некоторой области материального мира на две части, одна из которых рассматривается как система – объект анализа (синтеза), а другая – как внешняя среда.

Внешняя среда – это набор существующих в пространстве и во времени объектов (систем), которые, как предполагается, действуют на систему.

Внешняя среда представляет собой совокупность естественных и искусственных систем, для которых данная система не является функциональной подсистемой.

1.3. СОСТОЯНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Процессы, происходящие в сложных системах, как правило, сразу не удаётся представить в виде математических соотношений или хотя бы алгоритмов. Поэтому для того чтобы хоть как-то охарактеризовать стабильную ситуацию или её изменения, используются специальные термины, заимствованные теорией систем из теории автоматического регулирования, биологии, философии.

Рассмотрим основные из этих терминов.

Состояние. Понятием *состояние* обычно характеризуют мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в её развитии. Его определяют либо через входные воздействия и выходные сигналы (результаты), либо через макропараметры, макросвойства системы (давление, скорость, ускорение). Так, говорят о состоянии покоя (стабильные входные воздействия и выходные сигналы), о состоянии равномерного прямолинейного движения (стабильная скорость) и т.д.

Состояние системы – совокупность состояний её n элементов и связей между ними (двусторонних связей не может быть более чем $n(n - 1)$ в системе с n элементами). Если связи в системе неизменны, то её состояние можно представить в виде

$$Z = (Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_k, \dots, Z_m). \quad (1.5)$$

Задание конкретной системы сводится к заданию её состояний, начиная с зарождения и кончая гибелью или переходом в другую систему.

Реальная система не может находиться в любом состоянии. Всегда есть известные ограничения – некоторые внутренние и внешние факторы (например, человек не может жить 1000 лет).

Возможные состояния реальной системы образуют в пространстве состояний системы некоторую подобласть $Z_{\text{д}}$ (подпространство) – множество допустимых состояний системы.

Поведение. Если система способна переходить из одного состояния в другое (например, $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow \dots$), то говорят, что она обладает *поведением*. Этим понятием пользуются, когда неизвестны закономерности (правила) перехода из одного состояния в другое. Тогда говорят, что система обладает каким-то поведением и выясняют его характер, алгоритм.

С учётом введённых обозначений поведение можно представить как функцию $s(t) = [s(t-1), y(t), x(t)]$.

Равновесие. Понятие *равновесие* определяют как способность системы в отсутствии внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранять своё состояние сколь угодно долго. Это состояние называют *состоянием равновесия*.

Устойчивость. Под *устойчивостью* понимают способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием *внешних* (а в системах с активными элементами – *внутренних*) возмущающих воздействий. Эта способность обычно присуща системам при постоянном u только тогда, когда отклонения не превышают некоторого предела.

Состояние равновесия, в которое система способна возвращаться, называют *устойчивым состоянием равновесия*. Возврат в это состояние может сопровождаться колебательным процессом. Соответственно в сложных системах возможны неустойчивые состояния равновесия.

Развитие. Это понятие помогает объяснить сложные термодинамические и информационные процессы в природе и обществе. Исследование процесса развития, соотношения *развития* и *устойчивости*, изучение механизмов, лежащих в их основе, – наиболее сложные задачи теории систем. Ниже будет показано, что целесообразно выделять особый класс *развивающихся (самоорганизующихся) систем*, обладающих особыми свойствами и требующих использования специальных подходов к их моделированию.

Входы системы x_i – это различные точки приложения влияния (воздействия) внешней среды на систему (рис. 1.3).

Входами системы могут быть информация, вещество, энергия и т.д., которые подлежат преобразованию.

Обобщённым входом (X) называют некоторое (любое) состояние всех l входов системы, которое можно представить в виде вектора

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_l).$$

Выходы системы y_i – это различные точки приложения влияния (воздействия) системы на внешнюю среду (рис. 1.3).

Выход системы представляет собой результат преобразования информации, вещества и энергии.

Обратная связь – то, что соединяет выход со входом системы и используется для контроля за изменением выхода (рис. 1.3).

Ограничения системы – то, что определяет условия её функционирования (реализацию процесса). Ограничения бывают *внутренними* и *внешними*. Одним из внешних ограничений является цель функционирования системы. Примером внутренних ограничений могут быть ресурсы, обеспечивающие реализацию того или иного процесса.

Движение системы – это процесс последовательного изменения её состояния.

Вынужденное движение системы – изменение её состояния под влиянием внешней среды. Примером вынужденного движения может служить перемещение ресурсов по приказу (поступившему в систему извне).

Собственное движение – изменение состояния системы без воздействия внешней среды (только под действием внутренних причин). Собственным движением системы «человек» будет его жизнь как биологического (а не общественного) индивида, т.е. питание, сон, размножение.

Рассмотрим зависимости состояний системы от функций (состояний) входов системы, её состояний (переходов) и выходов.



Рис. 1.3. Схема системы с единичной обратной связью

Состояние системы $Z(t)$ в любой момент времени t зависит от функции входов $X(t)$

$$Z(t) = F_c [X(t)],$$

где F_c – функция состояния системы (переходная функция).

Состояние системы $Z(t)$ в любой момент времени t также зависит от предшествующих её состояний в моменты $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., т.е. от функций её состояний (переходов)

$$Z(t) = F_c [X(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots], \quad (1.6)$$

где F_c – функция состояния (переходов) системы.

Связь между функцией входа $X(t)$ и функцией выхода $Y(t)$ системы, без учёта предыдущих состояний, можно представить в виде

$$Y(t) = F_b [X(t)],$$

где F_b – функция выходов системы.

Система с такой функцией выходов называется *статической*.

Если же система зависит не только от функций входов $X(t)$, но и от функций состояний (переходов) $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., то

$$Y(t) = F_b [X(t), Z(t), Z(t-1), Z(t-2), \dots, (Z-\nu)]. \quad (1.7)$$

Системы с такой функцией выходов называются *динамическими* (или системами с поведением).

В зависимости от математических свойств функций входов и выходов систем различают системы *дискретные* и *непрерывные*.

Для непрерывных систем выражения (1.6) и (1.7) выглядят как:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = F_c [X(t), Z(t)]; \quad (1.8)$$

$$Y(t) = F_b [X(t), Z(t)]. \quad (1.9)$$

Уравнение (1.8) определяет состояние системы и называется *уравнением переменных состояний* системы.

Уравнение (1.9) определяет наблюдаемый нами выход системы и называется *уравнением наблюдений*.

Функции F_c (функция состояний системы) и F_b (функция выходов) учитывают не только текущее состояние $Z(t)$, но и предыдущие состояния $Z(t-1)$, $Z(t-2)$, ..., $Z(t-\nu)$ входов системы.

Предыдущие состояния являются параметром «памяти» системы. Следовательно, величина ν характеризует *объём (глубину) памяти системы*. Иногда её называют глубиной интеллекта памяти.

Процессы системы – это совокупность последовательных изменений состояния системы для достижения цели. К процессам системы относятся:

- входной процесс;
- выходной процесс;
- переходный процесс системы.

Входной процесс – множество входных воздействий, которые изменяются с течением времени. Входной процесс можно задать, если каждому моменту времени t поставить в соответствие по определённому правилу ω входные воздействия $x \in X$. Моменты времени t определены на множестве T , $t \in T$. В результате этот входной процесс будет представлять собой функцию времени $X[x] = \omega(x)$.

Выходной процесс – множество выходных воздействий на окружающую среду, которые изменяются с течением времени.

Воздействие системы на окружающую среду определяется выходными величинами (реакциями). Выходные величины изменяются с течением времени, образуя выходной процесс, представляющий функцию $Y[X] = \gamma(X)$.

Переходный процесс системы (процесс системы) – множество преобразований начального состояния и входных воздействий в выходные величины, которые изменяются с течением времени по определённым правилам.

1.4. ФУНКЦИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Обратная связь – одно из фундаментальных понятий *теории систем*. Первоначально это понятие было исследовано в *теории автоматического управления* [10].

Обратную связь обычно иллюстрируют схемами, подобными приведённой на рис. 1.4, где $x(t)$ – закон или алгоритм (программа) управления, $x_{\text{треб}}$ – требуемое значение регулируемого параметра («уставка»), x_i – фактическое значение регулируемого параметра, Δx – рассогласование между $x_{\text{треб}}$ и x_i .

Это понятие хорошо объясняется на примерах технических и электронных устройств, но не всегда легко интерпретируется в системах организационного управления. При использовании этого понятия часто ограничиваются только фиксацией рассогласования Δx между требуемым $x_{\text{треб}}$ и фактическим x_i значением регулируемого параметра, а необходимо учитывать и реализовывать все элементы, не забывая замкнуть контур обратной связи, выработав в блоке обратной связи соответствующие управляющие воздействия, которые скорректируют закон управления $x(t)$.

Обратная связь может быть:

– *отрицательной* – противодействующей тенденциям изменения выходного параметра, т.е. направленной на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра (например, стабилизацию количества выпускаемой продукции и т.п.);

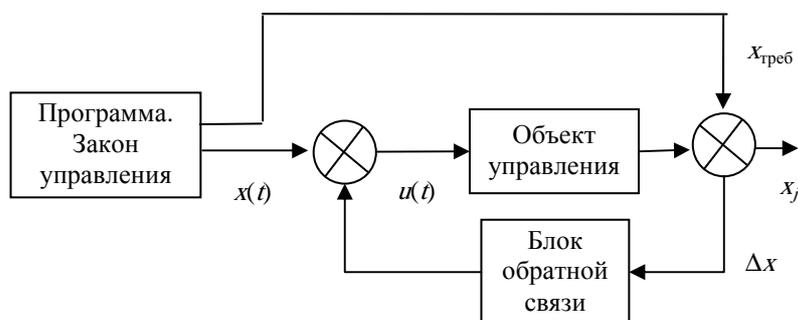


Рис. 1.4. Система с обратной связью

– *положительной* – сохраняющей тенденции происходящих в системе изменений того или иного выходного параметра (что используется при моделировании развивающихся систем).

Обратная связь является основой саморегулирования, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования.

При разработке моделей функционирования сложных саморегулирующихся, самоорганизующихся систем в них, как правило, одновременно присутствуют и отрицательные, и положительные обратные связи. На использовании этих понятий базируется, в частности, *имитационное динамическое моделирование*.

Единственное назначение подсистем обратной связи – изменение идущего процесса.

Обратная связь может быть:

- 1) объектом отдельного процесса подсистемы;
- 2) объектом интегрированного процесса подсистемы;
- 3) распределённым по времени объектом, возвращающим выход подсистемы с высшим приоритетом (более поздний по времени) для сравнения с критерием подсистемы низшего приоритета (более раннего по времени).

Схема на рис. 1.5 позволяет пояснить перечисленные виды процессов подсистемы обратной связи.

Интегрированным процессом называется такой, в котором объекты подсистемы теряют свой независимый характер. В интегрированных системах объекты могут быть определены только в контексте подсистемы или системы, к которой они принадлежат.

Подсистема AA на рис. 1.5 предшествует двум подсистемам AB и AC. Но она играет по отношению к ним разные роли: обратная связь AB даёт вход в подсистему AA (выступает как обратная связь объекта отдельного процесса подсистемы), но, кроме того, выход используется как вход в подсистему AC.

СИСТЕМА

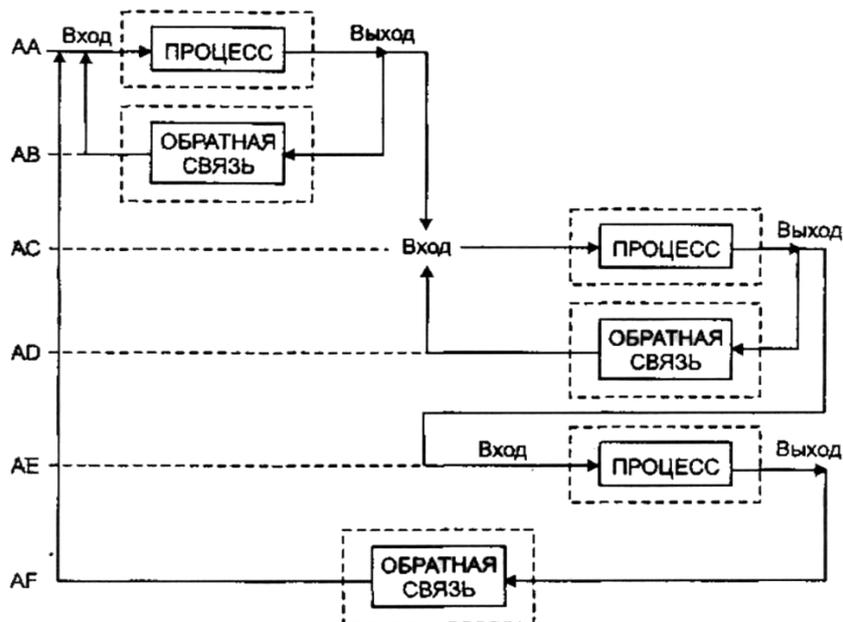


Рис. 1.5. Схема сложной системы с обратными связями

Выход подсистемы AC поступает на входную сторону подсистемы AE. Подсистемы AA, AC и AE видоизменяются собственными функциями подсистем обратной связи (обратная связь выступает как объект интегрированного процесса подсистем). Кроме того, подсистемы AA, AC, AE также изменяются под воздействием результатов последующих действий, например, подсистема AE изменяет подсистему AA с помощью обратной связи AF.

1.5. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Система может быть представлена простым перечислением элементов, или «чёрным ящиком» (моделью «вход – выход»). Однако чаще всего при исследовании объекта такое представление недостаточно, так как требуется выяснить, что собой представляет объект, что в нём обеспечивает выполнение поставленной цели, получение требуемых результатов. В этих случаях систему отображают путём расчленения на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут носить различный характер, и вводят понятие структуры.

Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований или в ходе проектирования структура системы может изменяться.

Структуры могут быть представлены в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

Структуры, особенно иерархические, могут помочь в раскрытии неопределённости сложных систем. Иными словами, структурные представления систем могут являться средством их исследования. В связи с этим полезно выделить и исследовать определённые виды (классы) структур.

1.5.1. ВИДЫ СТРУКТУР

Сетевая структура, или *сеть*, представляет собой декомпозицию системы *во времени* (рис. 1.6, а). Такие структуры могут отображать порядок действия технической системы (телефонная сеть, электрическая сеть и т.п.), этапы деятельности человека (при производстве продукции – сетевой график, при проектировании – сетевая модель, при планировании – сетевой план и т.д.). В виде сетевых моделей представляются методички системного анализа.

Иерархические структуры представляют собой декомпозицию системы *в пространстве* (рис. 1.6, б–д). Все компоненты (*вершины, узлы*) и связи (*дуги, соединения узлов*) существуют в этих структурах одновременно (не разнесены во времени). Такие структуры могут иметь не два (как для простоты показано на рис. 1.6, б, в), а большее число уровней декомпозиции (структуризации).

Структуры типа рис. 1.6, б, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинён одному узлу (одной вершине) вышестоящего (и это справедливо для всех уровней иерархии), называют *древовидными* структурами, структурами типа «*дерева*», на которых выполняется отношение древесного порядка, иерархическими структурами с «*сильными*» связями.

Структуры типа рис. 1.6, в, в которых элемент нижележащего уровня может быть подчинён двум и более узлам (вершинам) вышестоящего, называют иерархическими структурами со «*слабыми*» связями.

Матричные структуры. Иерархическим структурам, приведённым на рис. 1.6, б, в, соответствуют *матричные* структуры рис. 1.6, е, ж. Отношения, имеющие вид «слабых» связей между двумя уровнями на рис. 1.6, в, подобны отношениям в матрице, образованной из составляющих этих двух уровней на рис. 1.6, ж.

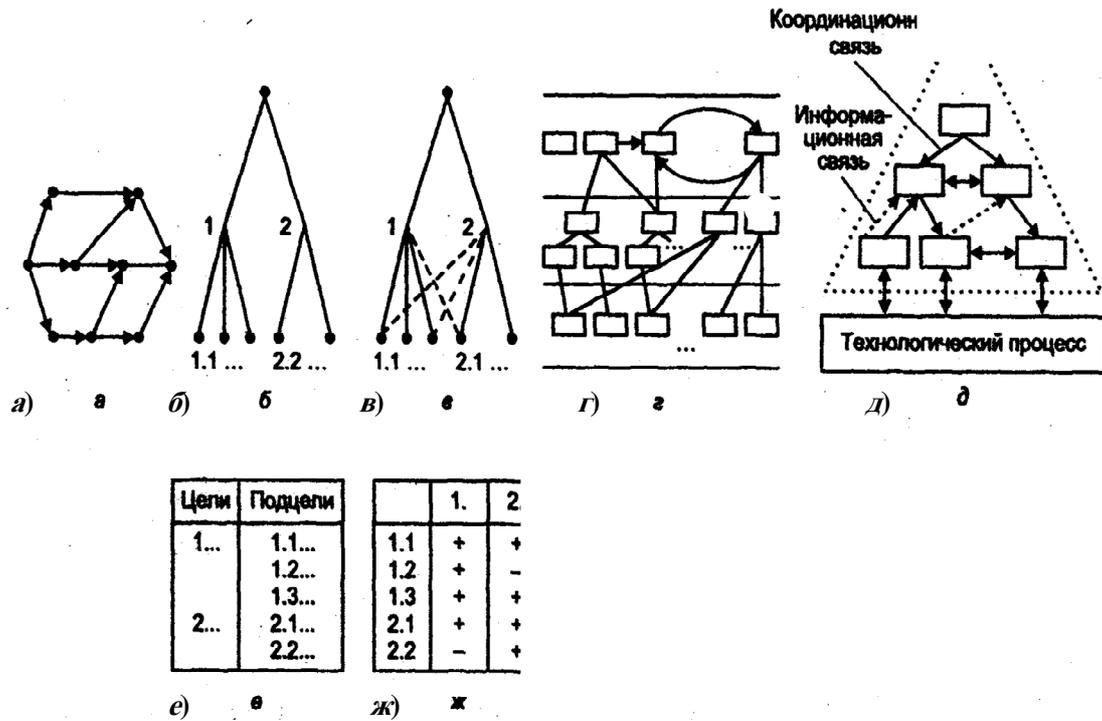


Рис. 1.6. Структуры систем

Многоуровневые иерархические структуры. В теории систем М. Месаровича [18] предложены особые классы иерархических структур, отличающиеся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего, для названия которых он предложил следующие термины: «страты», «слои», «эшелоны» (рис. 1.6, д).

Смешанные иерархические структуры бывают с вертикальными и горизонтальными связями (рис. 1.6, г).

Структуры с произвольными связями могут иметь любую форму, объединять принципы разных видов структур и нарушать их.

1.5.2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР

При выборе структуры для представления конкретной системы следует учитывать их особенности и возможности.

Сетевые структуры используются в тех случаях, когда систему удаётся отобразить через описание материальных и информационных процессов, происходящих в ней, т.е. представить последовательностью изготовления изделий, прохождения документов и т.д.

Предпочтительно представление во времени и процессов проектирования новых систем. Однако такое представление практически невозможно для сложных технических комплексов, особенно при проектировании организационных систем управления. В этих случаях вначале используют расчленение системы в пространстве, т.е. представление её различными видами иерархических структур. Наиболее предпочтительно получение древовидной структуры, которая более чётко отражает взаимоотношения между компонентами системы. Такое представление предпочтительно при организации производства сложных технических комплексов: древовидное расчленение изделия позволяет определить основные структурные единицы (цехи, участки и т.п.) производственной структуры, уточнение взаимодействия между которыми затем ведётся с помощью сетевых структур.

В организационных системах взаимоотношения между структурными единицами *организационной структуры* гораздо более сложны. Их не всегда удаётся сразу отобразить с помощью древовидной структуры. Используются иерархии со «слабыми связями», матричные структуры, а для сложных корпораций – многоуровневые структуры типа страт, эшелонов, смешанные структуры с вертикальными и горизонтальными связями.

От вида структур зависит важная характеристика любой системы – степень её целостности, устойчивости.

Для сравнительного анализа структур используются информационные оценки степени целостности α и коэффициента использования компонентов системы β , которые могут интерпретироваться как оценки устойчивости оргструктуры при предоставлении свободы элементам или как оценки степени централизации-децентрализации управления в системе.

Эти оценки получены из соотношения, определяющего взаимосвязь системной C_c , собственной C_o и взаимной C_v сложности системы:

$$C_c = C_o + C_v. \quad (1.10)$$

Собственная сложность C_o представляет собой суммарную сложность (содержание) элементов системы вне связи их между собой (в случае прагматической информации – суммарную сложность элементов, влияющих на достижение цели).

Системная сложность C_c характеризует содержание системы как целого (например, сложность её использования).

Взаимная сложность C_v характеризует степень взаимосвязи элементов в системе (т.е. сложность её устройства, схемы, структуры).

Разделив члены выражения (1.10) на C_0 , получим две важные сопряжённые оценки:

$$\alpha = -C_b / C_0; \quad (1.11)$$

$$\beta = C_c / C_0, \quad (1.12)$$

причём $\beta = 1 - \alpha$.

Оценка (1.11) характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы; для организационных систем α может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления.

Оценка (1.12) показывает самостоятельность, автономность частей в целом, степень использования возможностей элементов. Для организационных систем β удобно называть коэффициентом использования элементов в системе.

Знак минус в выражении (1.11) введён для того, чтобы α было положительным, поскольку C_b в устойчивых системах, для которых характерно $C_0 > C_c$, формально имеет отрицательный знак. Связанное (остающееся как бы внутри системы) содержание C_b характеризует работу системы на себя, а не на выполнение стоящей перед ней цели (чем и объясняется отрицательный знак C_b). Последнее особенно важно учитывать при формировании оргструктур предприятий и других организаций.

1.6. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Классификации всегда относительны. Так, в детерминированной системе можно найти элементы стохастичности, и, напротив, детерминированную систему можно считать частным случаем стохастической (при вероятности равной единице). Аналогично, если принять во внимание диалектику субъективного и объективного в системе, то станет понятной относительность разделения системы на абстрактные и объективно существующие: это могут быть стадии развития одной и той же системы.

Однако относительность классификаций не должна останавливать исследователей. Цель любой классификации – ограничить выбор подходов к отображению системы, сопоставить выделенным классам приёмы и методы системного анализа и дать рекомендации по выбору методов для соответствующего класса систем. При этом система, в принципе, может быть одновременно охарактеризована несколькими признаками, т.е. ей может быть найдено место одновременно в разных классификациях, каждая из которых может оказаться полезной при выборе методов моделирования.

Рассмотрим для примера некоторые из наиболее важных классификаций систем.

Для выделения классов систем могут использоваться различные классификационные признаки. Основными из них считаются: природа элементов, происхождение, длительность существования, изменчивость свойств, степень сложности, отношение к среде, реакция на возмущающие воздействия, характер поведения и степень участия людей в реализации управляющих воздействий. Классификация систем представлена в табл. 1.1.

По природе элементов системы делятся на реальные и абстрактные.

Реальными (физическими) системами являются объекты, состоящие из материальных элементов.

Среди них обычно выделяют механические, электрические (электронные), биологические, социальные и другие подклассы систем и их комбинации.

Абстрактные системы составляют элементы, не имеющие прямых аналогов в реальном мире. Они создаются путём мысленного отвлечения от тех или иных сторон, свойств и (или) связей предметов и образуются в результате творческой деятельности человека. Иными словами, это продукт его мышления. Примером абстрактных систем являются системы уравнений, идеи, планы, гипотезы, теории и т.п.

В зависимости от происхождения выделяют естественные и искусственные системы.

Естественные системы, будучи продуктом развития природы, возникли без вмешательства человека. К ним можно отнести, например, климат, почву, живые организмы, солнечную систему и др. Появление новой естественной системы – большая редкость.

Искусственные системы – это результат созидательной деятельности человека, со временем их количество увеличивается.

По длительности существования системы подразделяются на постоянные и временные. К *постоянным* обычно относятся естественные системы, хотя с точки зрения диалектики все существующие системы – *временные*.

1.1. Классификация систем

Классификационные признаки	Классы
Природа элементов	Реальные (физические) Абстрактные
Происхождение	Естественные Искусственные
Длительность существования	Постоянные Временные
Изменчивость свойств	Статические Динамические
Степень сложности	Простые Сложные Большие
Отношение к среде	Закрытые
Реакция на возмущающие воздействия	Активные Пассивные

Характер поведения	С управлением Без управления
Степень связи с внешней средой	Открытые Изолированные Закрытые Открытые равновесные Открытые диссипативные
Степень участия в реализации управляющих воздействий людей	Технические Человеко-машинные Организационные

К постоянным относятся искусственные системы, которые в процессе заданного времени функционирования сохраняют существенные свойства, определяемые предназначением этих систем.

В зависимости от степени изменчивости свойств системы делятся на статические и динамические.

К *статическим* относятся системы, при исследовании которых можно пренебречь изменениями во времени характеристик их существенных свойств.

Статическая система – это система с одним состоянием. В отличие от статических, *динамические* системы имеют множество возможных состояний, которые могут меняться как непрерывно, так и дискретно.

В зависимости от степени сложности системы делятся на простые, сложные и большие.

Простые системы с достаточной степенью точности могут быть описаны известными математическими соотношениями. Особенность простых систем – в практически взаимной независимости от свойств, которая позволяет исследовать каждое свойство в отдельности в условиях классического лабораторного эксперимента и описать методами традиционных технических дисциплин (электротехника, радиотехника, прикладная механика и др.). Примерами простых систем могут служить отдельные детали, элементы электронных схем и т.п.

Сложные системы состоят из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, каждый из которых может быть представлен в виде системы (подсистемы). Сложные системы характеризуются многомерностью (большим числом составленных элементов), многообразием природы элементов, связей, разнородностью структуры.

К сложной можно отнести систему, обладающую по крайней мере одним из ниже перечисленных признаков:

- систему можно разбить на подсистемы и изучать каждую из них отдельно;
- система функционирует в условиях существенной неопределённости и воздействия среды на неё, обуславливает случайный характер изменения её показателей;
- система осуществляет целенаправленный выбор своего поведения.

Сложные системы обладают свойствами, которыми не обладает ни один из составляющих элементов. Сложными системами являются живые организмы, в частности человек, ЭВМ и т.д. Особенность сложных систем заключается в существенной взаимосвязи их свойств.

Большие системы – это сложные пространственно-распределённые системы, в которых подсистемы (их составные части) относятся к категориям сложных. Дополнительными особенностями, характеризующими большую систему, являются:

- большие размеры;
- сложная иерархическая структура;
- циркуляция в системе больших информационных, энергетических и материальных потоков;
- высокий уровень неопределённости в описании системы.

Автоматизированные системы управления, воинские части, системы связи, промышленные предприятия, отрасли промышленности и т.п. могут служить примерами больших систем.

По степени связи с внешней средой системы делятся на изолированные, закрытые, открытые равновесные и открытые диссипативные.

Изолированные системы не обмениваются со средой энергией и веществом. Процессы самоорганизации в них невозможны. Энтропия изолированной системы стремится к своему максимуму.

Закрытые системы не обмениваются с окружающей средой веществом, но обмениваются энергией. Они способны к фазовым переходам в равновесное упорядоченное состояние. При достаточно низкой температуре в закрытой системе возникает кристаллический порядок.

Открытые системы обмениваются с окружающей средой энергией и веществом. Изменение энтропии открытой системы ds определяется алгебраической суммой энтропии, производимой внутри системы $d_p s$, и энтропии, поступающей извне или уходящей во внешнюю среду $d_c s$, т.е.

$$ds = d_p s + d_c s.$$

В состоянии прочного равновесия – стационарном состоянии, $ds = 0$.

Открытые системы в значительной мере характеризуются скоростью производства энтропии в единице объёма – функцией диссипации (рассеяния), которая по определению

$$d_p s / dt = \int \sigma dV,$$

где σ – функция диссипации; t – время; V – объём.

К *открытым равновесным* относятся также системы, которые при отклонении от стационарного состояния возвращаются в него экспоненциально, без осцилляции. По теории И. Пригожина, для открытых равновесных систем в стационарных состояниях функция диссипации имеет минимум, т.е. соблюдается принцип экономии энтропии.

Открытые диссипативные системы возникают в результате кооперативных процессов. Их поведение не линейно. Механизм образования диссипативной структуры: подсистемы флуктуируют, иногда достигая точки бифуркации, после которой может наступить порядок более высокого уровня. Переходы в состояния динамической упорядоченности, когерентности, автоколебаний и автокаталитических реакций и в результате роста флуктуации являются своего рода фазовыми переходами.

Изолированных и закрытых систем фактически в природе не существует. Можно проанализировать пример любой из таких систем и убедиться, что нет экранов сразу от всех форм материи или энергии, что любая система быстрее – медленнее развивается или стареет. В вечности понятия «быстро» и «медленно» смысла не имеют, поэтому, строго говоря, существуют только открытые диссипативные системы, близкие к равновесию, условно названные открытыми равновесными системами. Изолированные и закрытые системы – заведомо упрощенные схемы открытых систем, полезные при приближённом решении частных задач.

В зависимости от реакции на возмущающие воздействия выделяют активные и пассивные системы.

Активные системы способны противостоять воздействиям среды (противника, конкурента и т.д.) и сами могут воздействовать на неё. У *пассивных* систем это свойство отсутствует.

По характеру поведения все системы подразделяются на системы с управлением и без управления.

Класс *систем с управлением* образуют системы, в которых реализуется процесс целеполагания и целеосуществления.

Примером *систем без управления* может служить Солнечная система, в которой траектории движения планет определяются законами механики.

В зависимости от степени участия человека в реализации управляющих воздействий системы подразделяются на технические, человеко-машинные, организационные. Как правило, когда речь идёт о различных видах систем управления, подразумевается именно это их деление.

К *техническим* относятся системы, которые функционируют без участия человека. Как правило, это системы автоматического управления (регулирования), представляющие собой комплексы устройств для автоматического изменения, например, координат объекта управления, с целью поддержания желаемого режима его работы. Такие системы реализуют процесс технологического управления. Они могут быть как адаптивными, т.е. приспосабливающимися к изменению внешних и внутренних условий в процессе работы путём изменения своих параметров или структуры для достижения требуемого качества функционирования, так и неадаптивными.

Примерами *человеко-машинных* (эргатических) систем могут служить автоматизированные системы управления различного назначения. Их характерной особенностью является то, что человек сопряжён с техническими устройствами, причём окончательное решение принимает человек, а средства автоматизации лишь помогают ему в обосновании правильности этого решения.

К *организационным* системам относятся социальные системы – группы, коллективы людей, общество в целом.

1.7. ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПРИНЦИПЫ ЦЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ

1.7.1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ФОРМУЛИРОВАНИЯ ЦЕЛЕЙ

Обобщение результатов исследований процессов целеобразования, проводимых философами, психологами, кибернетиками, и наблюдение процессов обоснования и структуризации целей в конкретных условиях позволили сформулировать некоторые общие принципы, закономерности, которые полезно использовать на практике.

Зависимость представления о цели и формулировки цели от стадии познания объекта (процесса) и от времени. Анализ определений понятия «цель» позволяет сделать вывод о том, что, формулируя цель, нужно стремиться отразить в формулировке или в способе представления цели основное противоречие: её активную роль в познании, в управлении, и в то же время необходимость сделать её реалистичной, направить с её помощью деятельность на получение определённого полезного результата. При этом формулировка цели и представление о цели зависит от стадии познания объекта, и по мере развития представления о нём цель может переформулироваться.

Зависимость цели от внешних и внутренних факторов. При анализе причин возникновения и формулирования целей нужно учитывать, что на цель влияют как внешние по отношению к системе факторы (внешние требования, потребности, мотивы, программы), так и внутренние факторы (потребности, мотивы, программы самой системы и её элементов, исполнителей цели); при этом последние являются такими же объективно влияющими на процесс целеобразования факторами, как и внешние (особенно при использовании в системах управления понятия цели как средства побуждения к действию).

Цели могут возникать на основе взаимодействия противоречий, коалиций) как между внешними и внутренними факторами, так и между внутренними факторами, существующими ранее и вновь возникающими в находящейся в постоянном самодвижении целостности.

Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче её структуризации. Анализ процессов формулирования обобщённой (глобальной) цели в сложных системах показывает, что эта цель первоначально возникает в сознании руководителя или иного лица, принимающего решение, не как единичное понятие, а как некоторая, достаточно «размытая» область.

Исследования психологов показывают, что цель на любом уровне управления вначале возникает в виде некоторого «образа» или «области» цели. В наибольшей степени это проявляется на уровне глобальной цели. При этом достичь одинакового понимания этой области цели всеми ЛПР, по-видимому, принципиально невозможно без её детализации в виде неупорядоченного или упорядоченного (в структуре) набора одновременно возникающих взаимосвязанных подцелей, которые делают её более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования.

Сказанное позволяет сделать вывод о том, что задача формулирования обобщающей цели в сложных системах не только может, но и должна сводиться к задаче структуризации или декомпозиции цели. Структура цели, коллективно формируемая, помогает достичь одинакового понимания общей цели всеми ЛПР и исполнителями.

1.7.2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ЦЕЛЕЙ

Следующие три закономерности развивают рассмотренные выше закономерности применительно к структурам целей.

Зависимость способа представления целей от стадии познания объекта. Цели могут представляться в форме различных структур, подобных приведённым на рис. 1.6, т.е. с помощью:

- а) сетевых графиков (декомпозиция во времени – рис. 1.6, а);
- б) в виде иерархий различного вида (декомпозиция в пространстве) – древовидных (рис. 1.6, б), со «слабыми связями» (рис. 1.6, в), в форме «страт» и «эшелонов» М. Месаровича (рис. 1.6, г и д, соответственно);
- в) в матричной (табличной) форме (рис. 1.6 е, ж), при этом матричные представления рис. 1.6, е и ж соответствуют иерархическим структурам рис. 1.6, б и в.

На начальных этапах моделирования системы, как правило, удобнее применять декомпозицию в пространстве, и предпочтительнее – древовидные иерархические структуры. Возникновение «слабых» иерархий можно объяснить тем, что цели вышестоящих уровней иерархии сформулированы слишком «близко» к идеальным устремлениям в будущее, а представления исполнителей о целях-задачах и подцелях-функциях не может обеспечить эти устремления.

Представление развёрнутой последовательности подцелей (функций) в виде сетевой модели требует хорошего знания объекта, знания законов его функционирования, технологии производства и т.п. Иногда сетевая структура может быть сформирована не сразу, а последующие подцели могут выдвигаться по мере достижения предыдущих, т.е. пространство между обобщающей целью и исходным первоначальным пониманием первой подцели будет заполняться как бы постепенно.

Проявление в структуре целей закономерности целостности. В иерархической структуре закономерность целостности (эмерджентности) проявляется на любом уровне иерархии. Применительно к структуре целей это означает, что, с одной стороны, достижение цели вышестоящего уровня не может быть полностью обеспечено достижением подчинённых ей подцелей, хотя и зависит от них, а, с другой стороны, потребности, программы (как внешние, так и внутренние) нужно исследовать на каждом уровне структуризации, и получаемые разными людьми расчленения подцелей в силу различного раскрытия неопределённости могут оказаться разными, т.е. разные личности могут предложить разные иерархические структуры целей и функций, даже при использовании одних и тех же принципов структуризации и методик.

2. МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕОРИИ СИСТЕМ

2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ МОДЕЛЬ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Первоначально *моделью называли некое вспомогательное средство, объект, который в определённой ситуации заменял другой объект.*

При этом далеко не сразу была понята универсальность законов природы, всеобщность моделирования, т.е. не просто возможность, но и необходимость представлять любые наши знания в виде моделей. Например, древние философы считали невозможным моделирование естественных процессов, так как, по их представлениям, природные и искусственные процессы подчинялись различным закономерностям. Они полагали, что отобразить природу можно только с помощью логики, методов рассуждений, споров, т.е., по современной терминологии, языковых (дескриптивных) моделей. Через несколько столетий девизом английского Королевского научного общества стал лозунг «Ничего словами!», который явился кратчайшим изложением принципов естествознания: признавались только выводы, подкреплённые экспериментально или математическими выкладками. В английском языке до сих пор в понятие «наука» не входят области знания, которым в русском языке соответствует термин «гуманитарные науки», – они отнесены к категории «искусств». В результате очень долго понятие «модель» относилось только к материальным объектам специального типа, например манекен (модель человеческой фигуры), гидродинамическая уменьшенная модель плотины, модели судов и самолетов, чучела (модели животных) и т.п.

Осмысливание основных особенностей таких моделей привело к разработке многочисленных определений, типичным примером которых служит следующее: *моделью называется некий объект-заместитель, который в определённых условиях может заменять объект-оригинал, воспроизводя интересующие нас свойства и характеристики оригинала, причём имеет существенные преимущества удобства* (наглядность, обозримость, доступность испытаний, лёгкость оперирования с ним и пр.).

Затем были осознаны модельные свойства чертежей, рисунков, карт – реальных объектов искусственного происхождения, воплощающих абстракцию довольно высокого уровня.

Следующий шаг заключался в признании того, что моделями могут служить не только реальные объекты, но и абстрактные, идеальные построения. Типичным примером служат математические модели. В результате деятельности математиков, логиков и философов, занимавшихся исследованием оснований математики, была создана теория моделей. В ней *модель определяется как результат отображения одной абстрактной математической структуры на другую, также абстрактную, либо как результат интерпретации первой модели в терминах и образах второй.*

В XX в. понятие модели становится всё более общим, охватывающим и реальные, и идеальные модели. При этом понятие абстрактной модели вышло за пределы математических моделей, стало относиться к любым знаниям и представлениям о мире.

Следует отметить, что споры вокруг такого широкого толкования понятия модели продолжаются и поныне. Рассмотрим аргументы, фигурирующие в таких спорах. Стоит ли понятие абстрактной модели распространять на такие формы научных знаний, как законы, гипотезы, теории? Сторонники положительного ответа на этот вопрос отмечают, что психологический барьер неприятия объясняется тем, что понятия гипотезы, закономерности, теории сформировались и установились в языке науки и философии значительно раньше, чем понятие модели. Эти понятия, будучи исторически первыми, воспринимаются и как логически первичные, причём в этой схеме модели отводится роль лишь вспомогательного средства. Однако при этом содержание понятия модели обедняется, неоправданно сужается. Дело в том, что классифицировать гипотезу или теорию как модель вовсе не означает подмену одного понятия другим или отождествление этих, безусловно, разных понятий. Модели могут быть качественно различными, они образуют иерархию, в которой модель более высокого уровня (например, теория)

содержит модели нижних уровней (скажем, гипотезы) как свои части, элементы. Важно также, что признание идеальных представлений, научных построений, законов в качестве моделей подчёркивает их относительную истинность.

Другой вопрос, часто возникающий в спорах: не означает ли такое широкое толкование модели, что это понятие становится применимым ко всему и, следовательно, логически пустым? Этот вопрос даёт возможность обсудить некоторые особенности моделей. Во-первых, ещё раз отметим иерархичность моделей, поэтому применительно к разным объектам понятие модели может иметь разное содержание. Во-вторых, тот факт, что любой объект может быть использован как модель, вовсе не означает, что он не может быть ничем иным. Например, ботинок также может являться моделью его владельца (скажем, по запаху ботинка сыскная собака отыщет преследуемого; по состоянию ботинка можно судить о некоторых особенностях сложения и даже чертах характера его хозяина), но это не лишает смысла ни понятие «обувь», ни понятие «модель». В-третьих, самые общие понятия совсем не являются логически пустыми: материя, движение, энергия, организация, система, модель.

Сначала в сфере научных дисциплин информационного, кибернетического, системного направления, а затем и в других областях науки модель стала осознаваться как нечто универсальное, хотя и реализуемое различными способами.

Модель есть способ существования знаний.

В широком смысле под **моделированием** следует понимать процесс адекватного отображения наиболее существенных сторон исследуемого объекта или явления с точностью, которая необходима для практических нужд. В общем случае **моделированием** можно назвать также особую форму опосредствования, основой которого является формализованный подход к исследованию сложной системы.

Теоретической базой моделирования является теория подобия. *Подобие* – это взаимно однозначное соответствие между двумя объектами, при котором известны функции перехода от параметров одного объекта к параметрам другого, а математические описания этих объектов могут быть преобразованы в тождественные. Теория подобия даёт возможность установить наличие подобия или позволяет разработать способ его получения.

Таким образом, **моделирование** – это процесс представления объекта исследования адекватной (подобной) ему моделью и проведения экспериментов с моделью для получения информации об объекте исследования. При моделировании модель выступает и как средство, и как объект исследований, находящийся в отношении подобия к моделируемому объекту. Иными словами, **модель** – это физическая или информационная система, представляющая собой объект исследования адекватно целям исследования.

2.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ

Моделирование – неотъемлемый этап всякой целенаправленной деятельности.

Всякий процесс труда есть деятельность, направленная на достижение определённой цели. Целевой характер имеет любая деятельность человека, она всегда целесообразна, целенаправленна.

Важнейшим организующим элементом деятельности является цель – образ желаемого будущего, т.е. **модель состояния, на реализацию которого направлена деятельность.**

Однако роль моделирования этим не ограничивается. Системность деятельности проявляется в том, что она осуществляется по определённому плану, или, как чаще говорят, по алгоритму. То есть *алгоритм* – образ будущей деятельности, её **модель**. В алгоритме моделируются все возможные ситуации, в зависимости от различных промежуточных значений параметров; возможные шаги деятельности не выполняются реально, а проигрываются на модели.

Моделирование возникает в таких сферах человеческой деятельности, как познание, общение, практическая деятельность.

Человека (субъекта моделирования) могут интересовать: внешний вид, структура, поведение объекта моделирования.

Цели и задачи моделирования влияют на выбор одного из этих трёх аспектов. Каждый аспект моделирования раскрывается через совокупность свойств.

Так, описание внешнего вида объекта сводится к перечислению его признаков. В языке эти признаки часто выражаются прилагательными: красивый, жёлтый, круглый, длинный и т.п.

Описание структуры обычно сводится к перечислению составных элементов объекта и указанию связи между ними. В языке эти элементы и связи часто выражаются именами существительными: электрон, протон, нейтрон, сила притяжения, энергетический уровень (при описании атома).

Поведение объекта характеризуется изменением его внешнего вида и структуры с течением времени в результате взаимодействия с другими объектами. В языке, как правило, оно выражается глаголами: сохраняется, развивается, укрупняется, перестраивается, преломляется, превращается и т.д.

Некоторые свойства можно охарактеризовать величинами, принимающими числовые значения. Например, единицами массы, длины, мощности и пр. В этом случае они называются **параметрами**.

Как правило, моделирование внешнего вида объекта необходимо для идентификации (узнавания) объекта (создание фоторобота преступника), долговременного хранения (фотография, портрет).

Моделирование структуры объекта необходимо для её наглядного представления, изучения свойств объекта, выявления значимых связей, изучения стабильности объекта и пр.

Поведением объекта назовем изменения, происходящие с ним с течением времени.

Моделирование поведения необходимо для: прогнозирования, установления связей с другими объектами, управления, конструирования технических устройств и пр.

2.1.2. ВИДЫ МОДЕЛЕЙ

Множественность моделей одного объекта обусловлена в частности тем, что для разных целей требуется строить (использовать) разные модели.

Одним из оснований классификации моделей может быть соотнесение типов моделей с типами целей. Например, модели можно разделить на *познавательные* и *прагматические*.

Познавательные модели являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися. Поэтому при обнаружении расхождения между моделью и реальностью встаёт задача устранения этого расхождения с помощью изменения модели путём приближения модели к реальности.

Прагматические модели являются средством управления, средством организации практических действий, способом представления образцово правильных действий или их результата. Поэтому при обнаружении расхождения между моделью и реальностью встает задача устранения этого расхождения с помощью изменения реальности так, чтобы приблизить её к модели.

Таким образом, прагматические модели носят нормативный характер, играют роль стандарта, образца, под которые «подгоняются» как сама деятельность, так и её результат.

Примерами прагматических моделей могут служить планы, программы действий, уставы организаций, кодексы законов, алгоритмы, рабочие чертежи и шаблоны, параметры отбора, технологические допуски, экзаменационные требования и т.п.

Различают физические и абстрактные модели.

Физические модели образуются из совокупности материальных объектов. Для их построения используются различные физические свойства объектов, причём природа применяемых в модели материальных элементов не обязательно та же, что и в исследуемом объекте. Примером физической модели является макет.

Информационная (абстрактная) модель – это описание объекта исследований на каком-либо языке. Абстрактность модели проявляется в том, что её компонентами являются понятия, а не физические элементы (например, словесные описания, чертежи, схемы, графики, таблицы, алгоритмы или программы, математические описания).

Информационные модели описывают поведение объекта-оригинала, но не копируют его.

Информационная модель – это целенаправленно отобранная информация об объекте, которая отражает наиболее существенные для исследователя свойства этого объекта.

Среди информационных (абстрактных) моделей различают:

- дескриптивные, наглядные и смешанные;
- гносеологические, инфологические, кибернетические, сенсуальные (чувственные), концептуальные, математические.

Гносеологические модели направлены на изучение объективных законов природы (например, модели солнечной системы, биосферы, мирового океана, катастрофических явлений природы).

Инфологическая модель (узкое толкование) – параметрическое представление процесса циркуляции информации, подлежащее автоматизированной обработке.

Сенсуальные модели – модели каких-то чувств, эмоций, либо модели, оказывающие воздействие на чувства человека (например, музыка, живопись, поэзия).

Концептуальная модель – это абстрактная модель, выявляющая причинно-следственные связи, присущие исследуемому объекту и существенные в рамках определённого исследования. Основное назначение концептуальной модели – выявление набора причинно-следственных связей, учёт которых необходим для получения требуемых результатов. Один и тот же объект может представляться различными концептуальными моделями, которые строятся в зависимости от цели исследования. Так, одна концептуальная модель может отображать временные аспекты функционирования системы, иная – влияние отказов на работоспособность системы.

Математическая модель – абстрактная модель, представленная на языке математических отношений. Она имеет форму функциональных зависимостей между параметрами, учитываемыми соответствующей концептуальной моделью. Эти зависимости конкретизируют причинно-следственные связи, выявленные в концептуальной модели, и характеризуют их количественно.

Таким образом, **модель** – это специальный объект, в некоторых отношениях замещающий оригинал. Принципиально не существует модели, которая была бы полным эквивалентом оригинала. Любая модель отражает лишь некоторые стороны оригинала. Поэтому с целью получения больших знаний об оригинале приходится пользоваться совокупностью моделей. Сложность моделирования как процесса заключается в соответствующем выборе такой совокупности моделей, которые замещают реальное устройство или объект в требуемых отношениях.

Например, систему дифференциальных уравнений, описывающую переключательные процессы в элементах цифрового устройства, можно использовать для оценки их быстродействия (времени переключения), но нецелесообразно применять для построения тестов или временных диаграмм работы устройства. Очевидно, в последних случаях необходимо воспользоваться какими-либо другими моделями, например, логическими уравнениями.

2.1.3. УРОВНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время при анализе и синтезе сложных систем получил развитие системный подход, который отличается от классического (или индуктивного) подхода. Согласно последнему, система рассматривается с позиций перехода от частного к общему и синтезирует (конструирует) систему путём слияния её элементов, разрабатываемых раздельно. Системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причём исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

Системный подход позволяет решить проблему построения сложной системы с учётом всех факторов и возможностей, пропорциональных их значимости, на всех этапах исследования системы и построения её модели. Системный подход означает, что каждая система является интегрированным целым даже тогда, когда она состоит из отдельных разобшённых подсистем. Таким образом, в основе системного подхода лежит рассмотрение системы как интегрированного целого, причём это рассмотрение при разработке начинается с главного: формулировки цели функционирования.

Построение модели системы относится к числу системных задач, при решении которых синтезируют решения на базе огромного числа исходных данных. Использование системного подхода в этих условиях позволяет не только построить модель реального объекта, но и на базе этой модели выбрать необходимое количество управляющей информации в реальной

системе, оценить показатели её функционирования и тем самым на базе моделирования найти наиболее эффективный вариант построения и оптимальный режим функционирования реальной системы.

В соответствии с системным подходом в процессе автоматизированного проектирования сложных систем моделирование их элементов и функциональных узлов выполняется в несколько этапов, на различных уровнях, соответствующих определённым уровням проектирования.

Методика моделирования непосредственно зависит от уровня моделирования, т.е. от степени детализации описания объекта.

Каждому уровню моделирования ставится в соответствие определённое понятие системы, элемента системы, закона функционирования элементов системы в целом и внешних воздействий.

В зависимости от степени детализации описания сложных систем и их элементов можно выделить три основных **уровня моделирования**.

1. Уровень *структурного* или *имитационного* моделирования сложных систем с использованием их алгоритмических моделей (моделирующих алгоритмов) и применением специализированных языков моделирования, теорий множеств, алгоритмов, формальных грамматик, графов, массового обслуживания, статистического моделирования.

2. Уровень *логического* моделирования функциональных схем элементов и узлов сложных систем, модели которых представляются в виде уравнений непосредственных связей (логических уравнений) и строятся с применением аппарата двухзначной или многозначной алгебры логики.

3. Уровень *количественного* моделирования (анализа) принципиальных схем элементов сложных систем, модели которых представляются в виде систем нелинейных алгебраических, или интегро-дифференциальных уравнений и исследуются с применением методов функционального анализа, теории дифференциальных уравнений, математической статистики.

Совокупность моделей объекта на структурном, логическом и количественном уровнях моделирования представляет собой иерархическую систему, раскрывающую взаимосвязь различных сторон описания объекта и обеспечивающую системную связность его элементов и свойств на всех стадиях процесса проектирования. При переходе на более высокий уровень абстрагирования осуществляется свёртка данных о моделируемом объекте, при переходе к более детальному уровню описания – развёртка этих данных. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

На *структурном* уровне моделируется состав элементов объекта на низшем уровне структурирования. К структурным относятся бинарные отношения иерархической подчинённости, отношения порядка, смежности, сопряжённости, функциональной связи.

Так, на структурном уровне моделируются ранние этапы проектирования объекта, когда топологической моделью объекта служит ориентированный граф (орграф) $G(V, E)$, составление которого базируется на содержательном описании состава (множество вершин V) и способа действия объекта (множество ребер E). Вершинами орграфа v_i (элементами объекта) являются, как правило, функционально законченные блоки (части) объекта, а ребрами e_j – информационные связи между ними.

Структурные отношения между элементами множества V описываются *матрицей смежности*, строки и столбцы которой соответствуют вершинам орграфа структурной модели, а её C_{ij} -й элемент равен числу рёбер, направленных от вершины v_i к вершине v_j . Отношения между элементами множества V и E , т.е. между вершинами и ребрами орграфа, описываются в виде *булевой матрицы инцидентности*, строки которой соответствуют вершинам, а столбцы – рёбрам орграфа; при этом её a_{ij} элемент равен +1, если v_i – начальная вершина ребра e_j , и -1, если v_i – конечная вершина ребра e_j .

На *логическом* уровне моделирования каждому множеству, булевой матрице бинарных отношений или структурному графу соответствуют наборы логических отношений между входящими в них элементами, представленными в виде логических переменных. Множествам V и $E(V)$ также соответствуют определённые логические отношения, отражающие причинно-следственные связи. Последние описывают последовательности изменения состояний объекта с учётом состояния других, необязательно смежных с ним, объектов.

При *количественном* моделировании каждому элементу множества булевой матрицы или логической переменной ставится в соответствие алгебраическая и другая количественная переменная, а логические отношения переходят в количественные отношения, например, уравнения, неравенства.

На каждом из основных уровней моделирования возможны описания объекта с различной степенью полноты и обобщения, так как существуют разные степени детализации структурных, логических и количественных свойств и отношений. Однако задача построения требуемой приближённой модели, которая бы достаточно точно отражала характерные свойства объекта или его элемента на данном уровне проектирования и в то же время являлась доступной для исследования, представляет значительные трудности.

2.2. КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести её словесное, *вербальное* описание в *формальное*.

В случае относительно простых задач такой переход осуществляется в сознании человека, который не всегда даже может объяснить, как он это сделал. Если полученная формальная модель (математическая зависимость между величинами в виде формулы, уравнения, системы уравнений) опирается на фундаментальный закон или подтверждается экспериментом, то этим доказывается её адекватность отображаемой ситуации, и модель рекомендуется для решения задач соответствующего класса.

По мере усложнения задач получение модели и доказательство её адекватности усложняется. Вначале эксперимент становится дорогим и опасным (например, при создании сложных технических комплексов, при реализации космических программ и т.д.), а применительно к экономическим объектам эксперимент становится практически нереализуемым, задача переходит в класс *проблем принятия решений*, и постановка задачи, формирование модели, т.е. перевод вербального описания в формальное, становится важной составной частью процесса принятия решения. Причём эту составную часть не всегда можно выделить как отдельный этап, завершив который, можно обращаться с полученной формальной моделью так же, как с обычным математическим описанием, строгим и абсолютно справедливым. Большинство реальных ситуаций проектирования сложных технических комплексов и управления экономикой необходимо отображать классом самоорганизующихся систем, модели которых должны постоянно корректироваться и развиваться.

При этом возможно изменение не только модели, но и метода моделирования, что часто является средством развития представления ЛПР о моделируемой ситуации.

Иными словами, перевод вербального описания в формальное, осмысление, интерпретация модели и получаемых результатов становятся неотъемлемой частью практически каждого этапа моделирования сложной развивающейся системы. Часто для того чтобы точнее охарактеризовать такой подход к моделированию процессов принятия решений, говорят о создании как бы «механизма» моделирования, «механизма» принятия решений (например, «хозяйственный механизм», «механизм проектирования и развития предприятия» и т.п.).

Возникающие вопросы – как формировать такие развивающиеся модели или «механизмы»? как доказывать адекватность моделей? – и являются основным предметом системного анализа.

Для решения проблемы перевода вербального описания в формальное в различных областях деятельности стали развиваться специальные приёмы и методы. Так, возникли методы типа «мозговой атаки», «сценариев», экспертных оценок, «дерева целей» и т.п.

В свою очередь, развитие математики шло по пути расширения средств постановки и решения трудноформализуемых задач. Наряду с детерминированными, *аналитическими методами* классической математики возникла *теория вероятностей* и *математическая статистика* (как средство доказательства адекватности модели на основе представительной выборки и понятия вероятности правомерности использования модели и результатов моделирования). Для задач с большей степенью неопределённости инженеры стали привлекать *теорию множеств*, *математическую логику*, *математическую лингвистику*, *теорию графов*, что во многом стимулировало развитие этих направлений. Иными словами, математика стала постепенно накапливать средства работы с неопределённостью, со смыслом, который классическая математика исключала из объектов своего рассмотрения.

Таким образом, между неформальным, образным мышлением человека и формальными моделями классической математики сложился как бы «спектр» 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. Этот спектр условно представлен на рис. 2.1, а.

Развитие методов моделирования, разумеется, шло не так последовательно, как показано на рис. 2.1, а. Методы возникали и развивались параллельно. Существуют различные модификации сходных методов. Их по-разному объединяли в группы, т.е. исследователи предлагали разные классификации (в основном – для формальных методов, что более подробно будет рассмотрено в следующем параграфе). Постоянно возникают новые методы моделирования как бы на «пересечении» уже сложившихся групп. Однако основную идею – существование «спектра» методов между вербальным и формальным представлением проблемной ситуации – этот рисунок иллюстрирует.

Первоначально исследователи, развивающие теорию систем, предлагали классификации систем и старались поставить им в соответствие определённые методы моделирования, позволяющие наилучшим образом отразить особенности того или иного класса. Такой подход к выбору методов моделирования подобен подходу прикладной математики. Однако в отличие от последней, в основу которой положены классы прикладных задач, системный анализ может один и тот же объект или одну и ту же

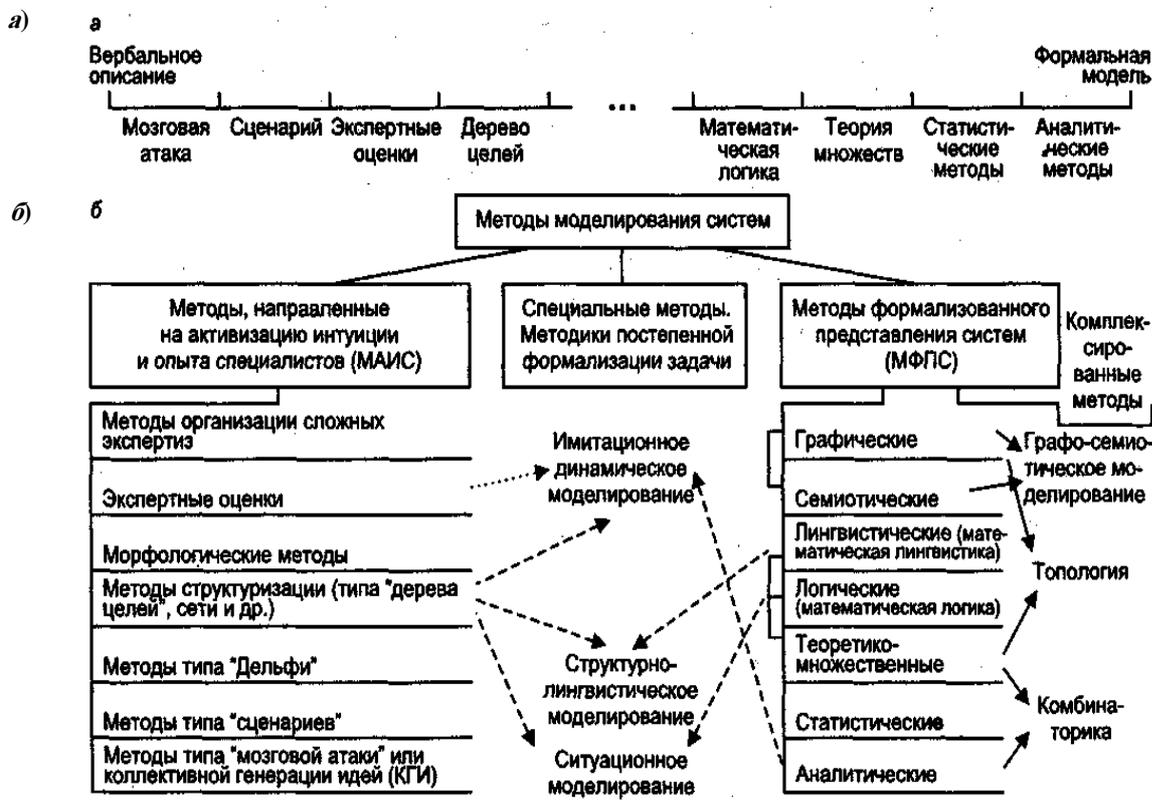


Рис. 2.1. Модели и моделирование систем

проблемную ситуацию (в зависимости от степени неопределённости и по мере познания) отображать разными классами систем и соответственно различными моделями, организуя таким образом как бы процесс постепенной формализации задачи, т.е. «выращивание» её формальной модели. Подход помогает понять, что неверно выбранный метод моделирования может привести к неверным результатам, к невозможности доказательства адекватности модели, к увеличению числа итераций и затягиванию решения проблемы.

2.2.1. АНАЛИТИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Эти группы методов получили наибольшее распространение в практике проектирования и управления. Правда, для представления промежуточных и окончательных результатов моделирования широко используются графические представления (графики, диаграммы и т.п.). Однако последние являются вспомогательными; основу же модели, доказательства её адекватности составляют те или иные направления аналитических и статистических представлений. Поэтому, несмотря на то что по основным направлениям этих двух классов методов в вузах читаются самостоятельные курсы лекций, мы всё же кратко охарактеризуем их особенности, достоинства и недостатки с точки зрения возможности использования при моделировании систем.

Аналитическими в рассматриваемой классификации названы методы, которые отображают реальные объекты и процессы в виде точек (безразмерных в строгих математических доказательствах), совершающих какие-либо перемещения в пространстве или взаимодействующих между собой.

Основу понятийного (терминологического) аппарата этих представлений составляют понятия классической математики (*величина, формула, функция, уравнение, система уравнений, логарифм, дифференциал, интеграл* и т.д.).

Аналитические представления имеют многовековую историю развития [24, 25], и для них характерно не только стремление к строгости терминологии, но и к закреплению за некоторыми специальными величинами определённых букв (например, удвоенное отношение площади круга к площади вписанного в него квадрата $\pi \approx 3,14$; основание натурального логарифма – $e \approx 2,7$ и т.д.).

На базе аналитических представлений возникли и развиваются математические теории различной сложности – от аппарата классического *математического анализа* (методов исследования функций, их вида, способов представления, поиска экстремумов функций и т.п.) до таких новых разделов современной математики, как *математическое программирование* (линейное, нелинейное, динамическое и т.п.), *теория игр* (матричные игры с чистыми стратегиями, дифференциальные игры и т.п.).

Эти теоретические направления стали основой многих прикладных, в том числе теории автоматического управления, теории оптимальных решений и т.д.

При моделировании систем применяется широкий спектр символических представлений, использующих «язык» классической математики. Однако далеко не всегда эти символические представления адекватно отражают реальные сложные процессы, и их в этих случаях, вообще говоря, нельзя считать строгими математическими моделями.

Большинство из направлений математики не содержат средств постановки задачи и доказательства адекватности модели. Последняя доказывается экспериментом, который по мере усложнения проблем становится также всё более сложным, дорогостоящим, не всегда бесспорен и реализуем.

В то же время в состав этого класса методов входит относительно новое направление математики *математическое программирование*, которое содержит средства постановки задачи и расширяет возможности доказательства адекватности моделей.

Статистические представления сформировались как самостоятельное научное направление в середине прошлого века (хотя возникли значительно раньше). Основу их составляет отображение явлений и процессов с помощью случайных (*стохастических*) событий и их поведений, которые описываются соответствующими вероятностными (*статистическими*) характеристиками и *статистическими закономерностями*.

Статистические отображения системы в общем случае (по аналогии с аналитическими) можно представить как бы в виде «размытой» точки (размытой области) в n -мерном пространстве, в которую переводит систему (её учитываемые в модели свойства) оператор $\Phi[S_x]$. «Размытую» точку следует понимать как некоторую область, характеризующую движение системы (её поведение); при этом границы области заданы с некоторой вероятностью p («размыты») и движение точки описывается некоторой случайной функцией.

Закрепляя все параметры этой области, кроме одного, можно получить срез по линии $a - b$, смысл которого – воздействие данного параметра на поведение системы, что можно описать статистическим распределением по этому параметру. Аналогично можно получить двумерную, трёхмерную и т.д. картины статистического распределения.

Статистические закономерности можно представить в виде *дискретных* случайных величин и их вероятностей, или в виде *непрерывных* зависимостей распределения событий, процессов.

Для *дискретных* событий соотношение между возможными значениями случайной величины x_i и их вероятностями p_i называют законом распределения и либо записывают в виде ряда (табл. 2.1), либо представляют в виде зависимостей $P(x)$ (рис. 2.2, а) или $p(x)$ (рис. 2.2, в).

x	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n
$p(x)$	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n

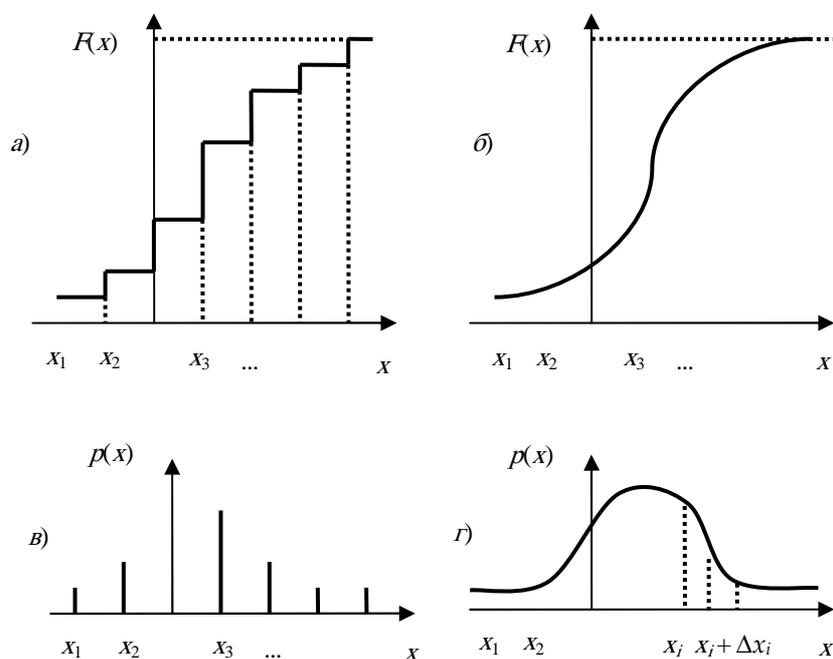


Рис. 2.2. Закон распределения и плотность вероятности случайных величин

При этом

$$F(x) = \sum_{x_j < x} p_j(x_j). \quad (2.1)$$

Для *непрерывных* случайных величин (процессов) закон распределения представляют (соответственно *дискретным* законам) либо в виде *функции распределения* (интегральный закон распределения – рис. 2.2, б), либо в виде *плотности вероятностей* (дифференциальный закон распределения – рис. 2.2, г). В этом случае $p(x) = dF(x) / dx$ и $\square F(x) = p(x)\square x$, где $p(x)$ – вероятность попадания случайных событий в интервал от x до $x + \square x$.

Для полной группы несовместных событий имеют место условия нормирования: *закона распределения*

$$F(x) = \sum_{i=1}^n p_i(x_i) = 1; \quad (2.2)$$

плотности вероятности

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = F(\infty) - F(-\infty) = 1 - 0 = 1. \quad (2.2a)$$

В монографиях и учебниках применяют тот или иной вид зависимостей, приведенных на рис. 2.2, более подходящий для соответствующих приложений.

Закон распределения является удобной формой статистического отображения системы. Однако получение закона (даже одномерного) или определение изменений этого закона при прохождении через какие-либо устройства или среды представляет собой трудную, часто невыполнимую задачу. Поэтому в ряде случаев пользуются не распределением, а его характеристиками – начальными и центральными моментами.

Наибольшее применение получили:

первый начальный момент – *математическое ожидание* или *среднее значение* случайной величины:

– для дискретных величин

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i p_i(x_i), \quad (2.3)$$

– для непрерывных величин

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx;$$

второй центральный момент – *дисперсия* случайной величины:

– для дискретных величин

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i(x_i), \quad (2.4)$$

– для непрерывных величин

$$\sigma_x^2 = \int_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i(x_i) dx.$$

На практике иногда используется не дисперсия σ_x^2 , а среднее квадратическое отклонение σ_x .

2.2.2. ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Теоретико-множественные представления базируются на понятиях *множество*, *элементы* множества, *отношения* на множествах.

Понятие *множество* относится к числу интуитивно постигаемых понятий, которым трудно дать определение. Это понятие содержательно эквивалентно понятиям «совокупность», «собрание», «ансамбль», «коллекция», «семейство», «класс» и другим обобщающим понятиям.

Один из основоположников теории множеств Георг Кантор определял множество как «*многое, мыслимое нами как единое*».

Множества могут задаваться следующими способами:

1) списком, *перечислением (интенциональным путём)*;

например,

$$\{a_i\}, \text{ где } i = 1, \dots, n, \quad (2.5)$$

или

$$\langle a_1, a_2, \dots, a_n \dots, a_n \rangle, \quad (2.5a)$$

где $a_i \in A$, \in – знак вхождения элементов в множество;

2) путём указания некоторого *характеристического свойства* A (экстенционально). Например, «*множество натуральных чисел*», «*множество рабочих данного завода*», «*множество планет солнечной системы*», «*множество A*» и т.д.

В основе теоретико-множественных преобразований лежит принцип перехода от одного способа задания множества к другому:

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \dots, a_n \rangle, \quad (2.6)$$

или

$$\langle a_1, a_2, \dots, a_n \dots, a_n \rangle \rightarrow A. \quad (2.7)$$

Переход от интенционального способа задания множества к экстенциональному называют принципом *свёртывания*.

В множестве могут быть выделены *подмножества*. Вхождение элементов в любое множество или подмножество описывается знаком принадлежит – \in , а вхождение подмножества в множество записывается $B \subset A$. Это означает, что все элементы подмножества B являются одновременно элементами множества A (рис. 2.3):

$$\begin{array}{ll} b_1 \in B & b_1 \in A \\ b_2 \in B & b_2 \in A \\ \dots & \dots \\ b_n \in B & b_n \in A \end{array} \rightarrow B \subset A$$

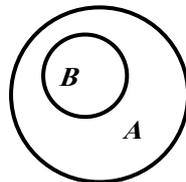


Рис. 2.3. Схема представлений теоретико-множественных моделей

Важным понятием является понятие *пустое множество* – множество, в котором в данный момент нет ни одного элемента: $D = \emptyset$.

При использовании теоретико-множественных представлений в соответствии с концепцией Кантора можно вводить *любые отношения*. При уточнении этих отношений применительно к множествам удобно пользоваться наглядными диаграммами Эйлера-Венна, примеры которых для операции объединения (\cup), пересечения ($\&$ или \cap), дополнения (отрицания, обозначаемого знаком « \neg » над именем множества, либо знаком перед именем множества или его элемента) приведены в табл. 2.2.

2.2.3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА

Базовыми понятиями математической логики являются высказывание, предикат, логические функции (операции) кванторы, логический базис, логические законы (законы алгебры логики).

Под *высказыванием* в алгебре логики понимается повествовательное предложение (суждение), которое характеризуется определённым значением истинности.

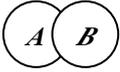
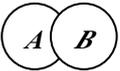
В простейших случаях используется два значения истинности: «истинно» – «ложно», «да» – «нет», «1» – «0». Такая алгебра логики, в которой переменная может принимать только два значения истинности, называется бинарной алгеброй логики Буля (по имени создателя алгебры логики).

2.2.4. ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ И СЕМИОТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Математическая лингвистика и *семиотика* – самые «молодые» методы формализованного отображения систем. Включение их в разряд математических нельзя считать общепризнанным.

Математическая лингвистика возникла во второй половине прошлого столетия как средство формализованного изучения естественных языков и вначале развивалась как *алгебраическая лингвистика*. Первые полезные результаты алгебраической лингвистики связаны со *структуралистским* (дескриптивным) подходом. Однако в силу отсутствия в тот период

Таблица 2.2

Наименование	Диаграмма	Обозначение
Множество A		A
Дополнение C множества A	 CA	CA ; \bar{A} ; $\neg A$
Множество B		B
Дополнение C множества B	 CB	CB ; \bar{B} ; $\neg B$
Множество A Множество B и их дополнения C	 CA CB	A, B, CA, CB
Объединение множеств A и B	 CA CB	$A \cup B$; $CA \cap CB$ $\alpha(CA \cap CB)$
Пересечение множеств A и B	 CA CB	$A \cap B$; $CA \cup CB$ $\alpha(CA \cup CB)$
Пересечение множества A и дополнения множества B	 CA CB	$A \cap CB$
Дополнение объединения множества A и дополнения множества B	 CA CB	$\alpha(A \cup CB)$

концепции развития языка эти работы привели к ещё большему тупику в попытках построения универсальной грамматики, и был период, когда структурализм считался неперспективным направлением развития науки о языке и даже был гоним.

Активное возрождение математической лингвистики началось в 1950 – 1960-е гг. и связано в значительной степени с потребностями прикладных технических дисциплин, усложнившиеся задачи которых перестали удовлетворять методы классической математики, а в ряде случаев – и формальной математической логики.

Семиотика возникла как наука о *знаках, знаковых системах*. Однако некоторые школы, развивающие семиотические представления, настолько равноправно пользуются в семиотике понятиями математической лингвистики, такими как *тезаурус, грамматика, семантика* и т.п. (характеризуемыми ниже), не выделяя при этом в отдельное направление *лингвосемиотику* (как это делает, например, Ю.С. Степанов [26]), что часто трудно определить, к какой области относится модель – математической лингвистике или семиотике.

2.2.5. ГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Понятие *графа* первоначально было введено Л. Эйлером. *Графические представления* позволяют наглядно отображать структуры сложных систем и процессов, происходящих в них. С этой точки зрения они могут рассматриваться как промежу-

точные между методами формализованного представления систем и методами активизации специалистов. Действительно, такие средства, как графики, диаграммы, гистограммы, древовидные структуры, можно отнести к средствам активизации интуиции специалистов.

В то же время есть и возникшие на основе графических представлений методы, которые позволяют ставить и решать вопросы оптимизации процессов организации, управления, проектирования, и являются математическими методами в традиционном смысле. Таковы, в частности, *геометрия*, *теория графов* и возникшие на основе последней прикладные теории – PERT, *сетевого планирования и управления* (СПУ) [13, 14, 27], а позднее и ряд методов *статистического сетевого моделирования* с использованием вероятностных оценок графов.

2.2.6. МЕТОДЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА АКТИВИЗАЦИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТУИЦИИ И ОПЫТА СПЕЦИАЛИСТОВ

Рассматриваемые ниже подходы и методы возникали и развивались как самостоятельные, и для обобщения в теории систем вначале их называли *качественными* [28] (оговаривая условность этого названия, поскольку при обработке получаемых результатов могут использоваться и количественные представления) или экспертными [15, 29], поскольку они представляют собой подходы в той или иной форме активизирующие выявление и обобщение мнений опытных специалистов – экспертов (в широком смысле термин «эксперт» в переводе с латинского означает «опытный»).

Однако есть и особый класс методов, связанных с непосредственным опросом экспертов, который называют методом экспертных оценок, поэтому был предложен [9] обобщающий термин, вынесенный в название параграфа. Этот термин, хотя и несколько громоздкий, в большей мере, чем другие, отражает суть методов, к которым прибегают специалисты в тех случаях, когда не могут сразу описать рассматриваемую проблемную ситуацию аналитическими зависимостями или выбрать тот или иной из рассмотренных выше методов формализованного представления для формирования модели принятия решения.

2.2.7. МЕТОДЫ ТИПА «МОЗГОВОЙ АТАКИ» ИЛИ КОЛЛЕКТИВНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ИДЕЙ

Концепция мозговой атаки или мозгового штурма получила широкое распространение с начала 1950-х гг. как «метод систематической тренировки творческого мышления», направленный на «открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления» [31].

Мозговая атака основана на гипотезе, что среди большого числа идей имеется по меньшей мере несколько хороших, полезных для решения проблемы, которые нужно выявить. Методы этого типа известны также под названием *коллективной генерации идей*, *конференций идей*, *метода обмена мнениями*.

В зависимости от принятых правил и жёсткости их выполнения различают *прямую мозговую атаку*, *метод обмена мнениями*, *методы типа комиссий*, *судов* (в последнем случае создаются две группы: одна группа вносит как можно больше предложений, а вторая старается максимально их раскритиковать). Мозговую атаку можно проводить в форме *деловой игры*, с применением тренировочной методики *«стимулирования наблюдения»*, в соответствии с которой группа формирует представление о проблемной ситуации, а эксперту предлагается найти наиболее логичные способы решения проблемы.

2.2.8. МЕТОДЫ ТИПА «СЦЕНАРИЕВ»

Методы подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенных в письменном виде, получили название *сценариев*. Первоначально этот метод предполагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возможные варианты решения проблемы, развёрнутые во времени. Однако позднее обязательное требование временных координат было снято, и сценарием стал называться любой документ, содержащий анализ рассматриваемой проблемы и предложения по её решению или по развитию системы, независимо от того, в какой форме он представлен. Как правило, на практике предложения для подготовки подобных документов пишутся экспертами вначале индивидуально, а затем формируется согласованный текст.

Сценарий предусматривает не только содержательные рассуждения, помогающие не упустить детали, которые невозможно учесть в формальной модели (в этом собственно и заключается основная роль сценария), но и содержит, как правило, результаты количественного технико-экономического или статистического анализа с предварительными выводами. Группа экспертов, подготавливающая сценарий, пользуется обычно правом получения необходимых сведений от предприятий и организаций, необходимых консультаций.

Роль специалистов по системному анализу при подготовке сценария – помочь привлекаемым ведущим специалистам соответствующих областей знаний выявить общие закономерности развития системы; проанализировать внешние и внутренние факторы, влияющие на её развитие и формулирование целей; провести анализ высказываний ведущих специалистов в периодической печати, научных публикациях и других источниках научно-технической информации; создать вспомогательные информационные фонды, способствующие решению соответствующей проблемы.

Сценарий позволяет создать предварительное представление о проблеме (системе) в ситуациях, которые не удаётся сразу отобразить формальной моделью. Однако сценарий – это всё же текст со всеми вытекающими последствиями (синонимия, омонимия, парадоксы), обуславливающими возможность неоднозначного его толкования. Поэтому его следует рассматривать как основу для разработки более формализованного представления о будущей системе или решаемой проблеме.

2.2.9. МЕТОДЫ СТРУКТУРИЗАЦИИ

Структурные представления разного рода позволяют разделить сложную проблему с большой неопределённостью на более мелкие, лучше поддающиеся исследованию, что само по себе можно рассматривать как некоторый метод исследования, именуемый иногда системно-структурным. Виды структур, получаемые путём расчленения системы во времени (сетевые структуры) или в пространстве (иерархические структуры разного рода, матричные структуры), были рассмотрены в гл.

1 (рис. 1.6). Методы структуризации являются основой любой методики системного анализа, любого сложного алгоритма организации проектирования или принятия управленческого решения.

2.2.10. МЕТОДЫ ТИПА «ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ»

Идея метода *дерева целей* впервые была предложена У. Черчменом в связи с проблемами принятия решений в промышленности [30]. Термин «дерево» подразумевает использование иерархической структуры, получаемой путём расчленения общей цели на подцели, а их, в свою очередь, на более детальные составляющие, которые в конкретных приложениях называют *подцелями* нижележащих уровней, *направлениями, проблемами*, а начиная с некоторого уровня – *функциями*.

При использовании метода «дерева целей» в качестве средства принятия решений часто применяют термин «дерево решений». При применении метода для выявления и уточнения функций системы управления говорят о «дереве целей и функций» [21, 23]. При структуризации тематики научно-исследовательской организации пользуются термином «дерево проблемы», а при разработке прогнозов – «дерево направлений развития (прогнозирования развития)» или «прогнозный граф».

2.2.11. МЕТОДЫ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Изучению особенностей и возможностей применения экспертных оценок посвящено много работ. В них рассматриваются:

- 1) проблемы формирования экспертных групп, включая требования к экспертам, размеры группы, вопросы тренировки экспертов, оценки их компетентности;
- 2) формы экспертного опроса (разного рода анкетирования, интервью, смешанные формы опроса) и методики организации опроса (в том числе методики анкетирования, мозговая атака, деловые игры и т.п.);
- 3) подходы к оцениванию (ранжирование, нормирование, различные виды упорядочения, в том числе методы предпочтений, попарных сравнений и др.);
- 4) методы обработки экспертных оценок;
- 5) способы определения согласованности мнений экспертов, достоверности экспертных оценок (в том числе статистические методы оценки дисперсии, оценки вероятности для заданного диапазона изменений оценок, оценки ранговой корреляции Кендалла, Спирмена, коэффициента конкордации и т.п.) и методы повышения согласованности оценок путём соответствующих способов обработки результатов экспертного опроса.

2.2.12. МЕТОДЫ ТИПА «ДЕЛЬФИ»

Метод «Дельфи» или метод «*дельфийского оракула*» первоначально был предложен О. Хелмером и его коллегами [30] как итеративная процедура при проведении мозговой атаки, которая способствовала бы снижению влияния психологических факторов при проведении заседаний и повышению объективности результатов. Однако почти одновременно «Дельфи»-процедуры стали средством повышения объективности экспертных опросов с использованием количественных оценок при сравнительном анализе составляющих «дерева 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 учёт этих результатов при оценке значимости мнений экспертов*.

В конкретных методиках, реализующих процедуру «Дельфи», эта идея используется в разной степени. Так, в упрощённом виде организуется последовательность итеративных циклов мозговой атаки. В более сложном варианте разрабатывается программа последовательных индивидуальных опросов с использованием методов анкетирования, исключающих контакты между экспертами, но предусматривающих ознакомление их с мнениями друг друга между турами.

2.2.13. МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ЭКСПЕРТИЗ

Рассмотренные выше недостатки экспертных оценок привели к необходимости создания методов, повышающих объективность получения оценок путём расчленения большой первоначальной неопределённости проблемы, предлагаемой эксперту для оценки, на более мелкие, лучше поддающиеся осмыслению.

В качестве простейшего из этих методов может быть использован способ усложнённой экспертной процедуры, предложенный в методике ПАТТЕРН [16]. В этой методике выделяются группы критериев оценки и рекомендуется ввести весовые коэффициенты критериев. Введение критериев позволяет организовать опрос экспертов более дифференцированно, а весовые коэффициенты – повышают объективность результирующих оценок.

2.3. МОДЕЛИ СИСТЕМ

Ввиду множественности различных систем существует более 35 их определений. Это объясняется тем, что определения есть языковая модель системы, и поэтому описание различных видов систем (искусственная, естественная) определяется по-разному, т.е. приводят к различным определениям. Кроме того, поскольку один и тот же объект (система) выполняет разные цели, это также создаёт множество определений.

Наиболее простое определение системы – это средство достижения цели, а цель – это субъективный абстрактный образ ещё не существующего, но желаемого состояния среды или окружающего нас мира.

Примером системы, определяющей время в любой момент, являются часы (либо городской транспорт, цель которого обеспечить передвижение людей в масштабах города).

Анализируя эти примеры, легко показать, что цели систем могут быть неоднозначными, что одну и ту же систему можно использовать для разных целей.

Сформулировать цель даже существующих систем сложно, тем более сформулировать цель проектирования систем.

Поэтому для облегчения решения задачи создания систем необходимо применение моделирования, так как для определений и точной характеристики любой системы следует совершенствовать и развивать её модель.

Наиболее простой моделью является модель «чёрного ящика» (рис. 2.4). Идея использования «чёрного ящика» возникла от недостаточности внутреннего строения (состава) самой системы, поэтому её мы изображаем в виде непрозрачного чёрного ящика, который обладает следующими свойствами: целостность его и обособленность от среды.

Первое свойство говорит о том, что ящик обособлен, т.е. выделен из среды, но не является полностью изолированным от нас, т.е. ящик (система) связан со средой связями. Как среда действует на него, так и он действует на среду.

Наряду с очевидностью простоты модели «чёрного ящика» она (простота) обманчива. При описании любой реальной системы очень часто мы сталкиваемся с трудностями в определении всех входов и выходов этой системы. Использование модели «чёрного ящика» даёт те результаты, которые определяются целью системы. Выбор входов «чёрного ящика» является противоположной задачей.

Неучёт некоторых входных или выходных параметров системы приводит часто к плохому достижению поставленной цели.

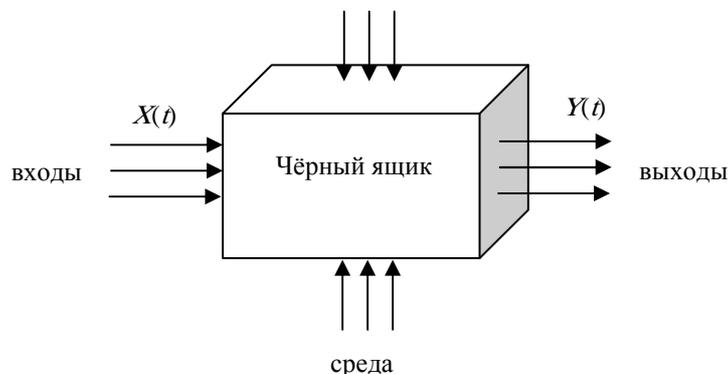


Рис. 2.4. Схема модели чёрного ящика
2.3.1. МОДЕЛЬ СОСТАВА СИСТЕМЫ

Очевидно, что модель чёрного ящика не рассматривает внутреннее устройство системы, поэтому для развития моделирования и детализации описания состава системы требуется усложнение модели, т.е. создание модели состава системы (рис. 2.5).

Данная модель описывает основные составные части системы, просматривает элементы системы как неделимые части и подсистемы, т.е. модель состава иллюстрирует иерархию составных частей системы.

На первый взгляд, эта модель кажется простой, но если дать задание экспертам определить состав одной и той же системы, то у каждого эксперта будет своя модель, отличающаяся от моделей других. Это объясняется тем, что, во-первых, понятие элемента у всех будет разным. Во-вторых, поскольку модель состава является деловой, то для различных целей требуются различные составные части этой системы и, в-третьих, деление всей системы над подсистемы является относительным или условным, так как границы этих подсистем, число этих подсистем и их состав будут различными, а значит и модели будут разными.

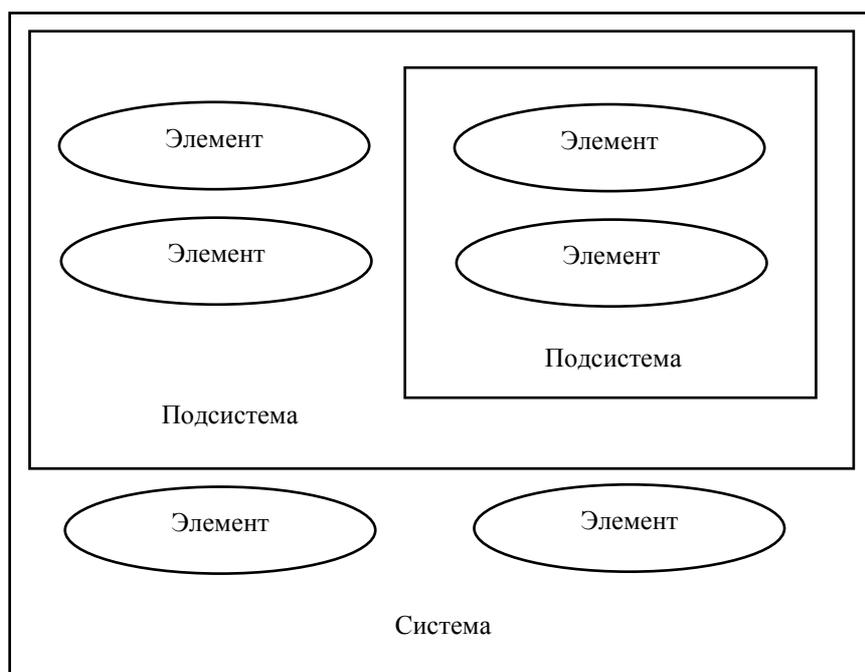


Рис. 2.5. Схема модели состава систем
2.3.2. МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

Для достижения многих практических целей недостаточно моделей «чёрного ящика» или модели состава, необходимо ещё правильно соединить все элементы между собой, т.е. установить или определить отношения между элементами.

Совокупность необходимых и достаточных для достижения целей отношений между элементами называется структурой системы.

Бесконечность природы любой системы порождает невообразимое количество этих отношений. Однако при построении системы мы рассматриваем некоторую совокупность важных отношений.

В отношении участвует не менее двух объектов, а свойством мы называем некоторый атрибут только одного объекта, поэтому свойства есть частный случай отношения или следствие отношений между объектами.

Отсюда появилось второе определение, более глубокое, системы – это совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое.

В этом случае модель охватывает «чёрный ящик», модель состава и модель структуры. Вместе они образуют ещё одну модель, которая называется структурной схемой системы.

Часто структурная схема описывается с помощью математической модели. Однако в настоящее время системы описываются с помощью схемы, состоящей из элементов и связей между ними. Такая схема называется графом (рис. 2.6).

В графах элементы называются вершинами, а связи между ними называются рёбрами, и вершины обозначаются кружками, а связи – в виде линий. Если не указаны направления связи, то такой граф называется неориентированным.

Вершины могут соединяться между собой любым количеством рёбер (линий), и вершина может быть связана сама с собой, тогда ребро называется петлёй.

Если связи между вершинами имеют размерную природу, то они обозначаются разными линиями и имеют различные веса, а графы называются взвешенными.

Теория графов имеет многочисленные приложения.

Особое место в теории систем занимают (системы) структуры с обратными связями, которые соответствуют кольцевым путям в ориентированных графах.

Часто структура информации, содержащаяся в графах, для ряда исследований недостаточна, поэтому методы теории графов становятся вспомогательными, а главными являются функциональные связи между входами и выходами или внутренними связями системы (рис. 2.7).

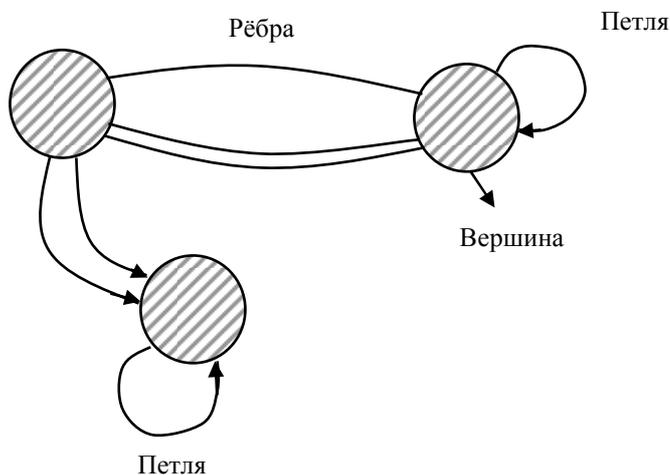


Рис. 2.6. Схема элементов графов:

○ – несвязанная вершина

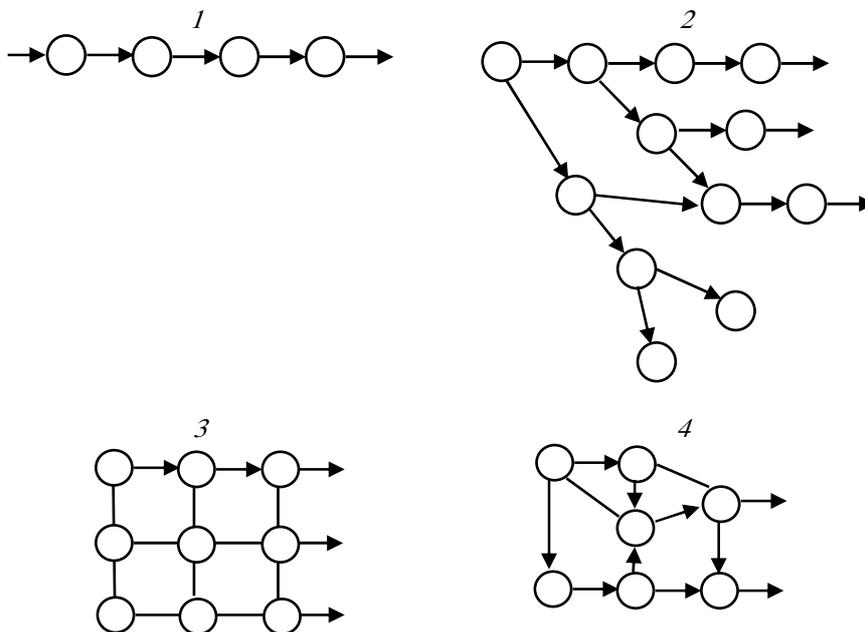


Рис. 2.7. Структуры графов:

1 – линейная; 2 – древовидная; 3 – матричная; 4 – сетевая

В реальности системы, а именно их структура и взаимосвязи меняются во времени, и такие системы называются динамическими. Поэтому всегда для описания реальных систем требуется создавать модели, которые описывают динамику изменения системы (в русском языке «динамический» означает – неоднозначный) и использование функциональных моделей, отражающих вид связи и его изменение во времени, является наиболее адекватной моделью описания любых объектов.

Все динамические системы бывают линейны и нелинейны.

Нелинейные – зависящие от многих параметров.

3. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СИСТЕМ

3.1. ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ

3.1.1. МАТЕРИАЛЬНОЕ ЕДИНСТВО МИРА

Чтобы подготовить читателя к идее информационного поля, необходимо обратиться к азам диалектического материализма, ибо эта идея, как будет видно из дальнейшего, есть не что иное, как математизированная диалектика.

Всеобщая взаимосвязь и взаимозависимость всех явлений материального мира – факт, не оспариваемый ни материалистами, ни идеалистами. Последние, впрочем, выводят единство мира из единства мысли о нём, а посему мы оставим без обсуждения их кондиции как бесперспективные с точки зрения теории информационного поля, базирующейся на объективной реальности законов природы. Материалистическое мировоззрение выводит единство мира из его материальности, т.е. из него самого, не апеллируя ни к каким внешним влияниям. Между тем, механизм всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений материального мира, обеспечивающий действие одних и тех же законов природы во все моменты времени и в любой точке пространства, может быть двояким.

Это либо основанное на дальнедействии непосредственное влияние разделённых в пространстве и во времени объектов материального мира через «пустоту», от чего физика была вынуждена в конце концов отказаться применительно к объяснению физического взаимодействия; либо основанное на близкодействии взаимодействие объектов посредством заполняющего пространство между ними поля той или иной природы, которое выступает в форме структуры материи и среды между взаимодействующими объектами.

Было бы естественным объяснить механизм всеобщей взаимосвязи явлений действием этих полей, однако, к сожалению, ни электромагнитное, ни гравитационное физические поля, ни оба они вместе не в состоянии объяснить связь явлений во всем их многообразии. Более того, на данном этапе не удалось даже законы одного из этих полей вывести из законов другого поля.

Но физика не демонстрирует и того, что все тела состоят из одной и той же материи, хотя и значительно приблизилась к этому, показав, что в основе всего лежит ограниченный набор элементарных частиц. Это под силу только философии, которая, опираясь на универсальную материю, утверждает общность происхождения объектов природы. Следовательно, и механизм всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости явлений может объяснить лишь философия путём обобщения физических полей до такой же степени универсальности, какой обладают материя и её структура. При этом обобщении у материи остаётся лишь одно свойство – обладать изменяющейся структурой, т.е. существовать в пространстве и времени в форме универсального поля, которое мы будем именовать *информационным полем*. Это поле создаётся всей совокупностью окружающих нас предметов и явлений, которые выступают либо как источники поля, либо как источники его возмущения.

Как мы знаем, взаимодействие в материальном мире может быть весьма разнообразным, однако его удобно подразделить на две основные формы: энергетическое (силовое) взаимодействие и все остальные виды взаимодействий, включая биологическое, экологическое и т.д. Перечисленные неэнергетические взаимодействия не имеют объединяющего их названия, но, поскольку все они содержат в своих названиях слово «логос», для краткости в дальнейшем будем называть такого рода взаимодействия логическим, противопоставляя его энергетическому взаимодействию. Однако, говоря о логическом взаимодействии материи, будем иметь в виду объективную реальность этого взаимодействия в отличие от субъективной человеческой логики. Что же касается последней, то она есть лишь отражение в нашем сознании объективной диалектики природы.

При этом логические связи, действующие между отдельными объектами и явлениями природы, носят объективный характер и могут существовать (но не проявляться) и в отсутствии тех или иных объектов.

Таким образом, если в пространстве существуют логические связи, обнаруживающиеся при наличии в нём соответствующих объектов, то можно говорить о существовании в нём *информационно-логического поля*.

Если не интересоваться этой служебной энергетической функцией поля, как мы не интересуемся энергетическими свойствами газетной бумаги, то у поля остаётся только одна главная – информационная функция, изучением которой мы и займёмся.

Поскольку информации не бывает вне её материальных носителей, то *под полем будем понимать структуру материи, окружающей объект, являющийся источником поля, которая (структура) сложилась под воздействием структуры самого объекта*.

Исходя из того что информация – философская категория, мы не можем при построении теории информационного поля пользоваться специально физическими постулатами вроде принципа наименьшего действия или принципа относительности, которые сами нуждаются в информационной интерпретации. Вместо них воспользуемся, во-первых, *фундаментальным принципом материализма об адекватности отражения*; во-вторых, *принципом объективной логики*, согласно которому естественные процессы текут в направлении снижения потенциала материи; и в-третьих, *принципом конечности скорости распространения информации*.

3.1.2. АДЕКВАТНОСТЬ ОТРАЖЕНИЯ. ЧУВСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ

С позиций материализма сущность природы составляет материя, т.е. данная нам в ощущениях объективная реальность, которая тем не менее существует независимо от наших ощущений. Это означает, что наши органы чувств дают нам информацию, являющуюся копией отражаемой материи. Поскольку ощущение является источником информации об окружающем мире, то, говоря современным языком, *материальные объекты даны нам в информации.*

Тем не менее, поскольку в общем случае отражение не полностью адекватно отражаемому объекту, имеет смысл говорить об *информации для нас* как результате отражения и об *информации* в себе, как атрибуте самой материи.

Поскольку материя существует в пространстве, она тем самым всегда имеет структуру. Именно структура как распределение материи в пространстве характеризуется количественно и является *информацией в себе*. Воспроизведение же структуры материи на качественно иных носителях или в нашем сознании есть *информация для нас*.

Между этими информациями нет никакого качественного различия, но есть различие количественное, ибо *информация в себе* J_c в общем случае больше *информации для нас* J_n :

$$J_n = R_k(J_c) J_c = R_k(M) M, \quad (3.1)$$

или в линейном приближении

$$J_n = R_k J_c = R_k M,$$

где M – измеряемое материальное свойство (масса, цвет, заряд и т.п.), создающее J_c ; J_n – *чувственная информация (информация для нас)* или *информация восприятия*, которую в дальнейшем для краткости будем использовать без индекса; R_k – *относительная информационная проницаемость среды*.

Таким образом, соотношение (3.1) реализует первый из принятых выше постулатов – *об адекватности отражения материи*, в соответствии с которым информация есть функция материи, которая по меньшей мере для ограниченных приращений носит характер пропорциональной зависимости.

Информация может быть как положительной, так и отрицательной. Поскольку же она выступает как мера количества материи, то и последняя должна иметь разные знаки.

Теорема Гаусса. Принимая приведённую выше точку зрения, неизбежно приходим к выводу, что объекты и явления природы не только содержат определённую информацию, но и непрерывно испускают её в окружающее пространство вне зависимости от того, есть ли в окрестности объекты, способные это поле воспринимать.

Поскольку чувственное отражение протекает во времени и в пространстве, то информация J представляет собой сумму потоков информации от отдельных частей материального объекта или от совокупности материальных объектов, формирующих информационное поле вокруг воспринимающего его измерителя.

Если говорить об отражении материального объекта или поля некой произвольной замкнутой вокруг него поверхностью, то полная информация составит из суммы потоков информации, приходящихся на единицу dS площади этой поверхности, т.е. из $O = dJ / dS$.

В таком случае должна иметь место теорема Гаусса, являющаяся математическим выражением философского положения о познаваемости мира

$$M = \oint_S O dS \quad \text{или} \quad J_c = \oint_S O dS, \quad (3.2)$$

где O – вектор интенсивности потока существования (отражения); интеграл берётся по замкнутой поверхности S , охватывающей изучаемое явление или объект.

Соотношение (3.2) означает, что всякая информация в себе создаёт поле существования, суммарный поток которого адекватен этой информации, т.е. материи, служащей источником поля. Иными словами, из теоремы Гаусса в форме (3.2) следует, что источник поля информации J принципиально полностью идентифицируем по реакции тех или иных пробных материальных объектов на изучаемое им поле существования без непосредственного контакта с самим источником.

С учётом (3.1) теорему Гаусса можно представить в форме

$$J_n = \oint_S R_k O dS = \oint_S O_n dS, \quad (3.3)$$

где $O_n = R_k O$ – вектор интенсивности отражения.

3.1.3. ПОЛЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ТОК

Любые процессы, доступные нашему наблюдению, сопровождаются обменом информацией между участвующими в них системами и окружающей средой. Да и само наблюдение за этими процессами подразумевает восприятие субъектом соответствующих потоков информации. Очевидно, что одни потоки за ограниченный отрезок времени приносят много информации, другие – мало. Удобной для сопоставления информационных потоков мерой служит *информационный ток* I , который естественно определить как информацию, приносимую потоком в каждую секунду времени

$$I = dJ / dt. \quad (3.4)$$

Можно также ввести вектор плотности информационного тока j , который определим как ток, протекающий через единицу площади поперечного сечения информационного потока

$$j = dI / dS. \quad (3.5)$$

Рассмотрим подробнее, из чего же складывается информационный ток, т.е. как обеспечивается перенос информации.

Довольно легко прийти к выводу, что один из самых распространённых способов передачи информации – это перенос её вместе с самими носителями информации. Здесь, однако, можно рассмотреть два вида информационных токов, различающихся источниками энергии, расходуемой на перенос носителей.

Так, распространение запахов, несущих сведения о пище, опасности и т.п., осуществляется за счёт тепловой диффузии молекул в воздухе, а также за счёт энергии потоков воздуха, которые не зависят от адресата или корреспондента. При этом направление передачи сообщений не всегда согласуется с вектором логических связей информационного поля, подобно тому, как в электрических полях ток переноса (конвекции) не всегда согласуется с вектором напряжённости поля и может течь даже навстречу полю. Это даёт основание именовать в дальнейшем такого рода информационные токи *токами переноса*.

Согласно определению, вектор плотности информационного тока переноса

$$j_n = \rho v,$$

где v – скорость переноса информации.

Помимо информационных токов переноса можно выявить также токи, возникающие под управляющим воздействием информационного поля и согласных с ним.

Назовем этот, всегда согласованный с информационным полем ток информации, который образован носителями, способными чувственно воспринимать поле и обладающими запасом энергии для перемещений, *чувственным током*.

3.2. ДИСКРЕТНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

3.2.1. СИСТЕМА КАК ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО БЫТИЯ

Хотя системные исследования привлекли особое внимание специалистов различных областей знаний лишь во второй половине нашего века, нельзя сказать, что системность была открыта в эти годы. Дело в том, что теория систем взялась изучать древнюю, как мир, проблему взаимодействия части и целого, диалектику этого взаимодействия, которую не обходила вниманием ни одна философская концепция.

Признавая, что математизация придаёт системологии особый статус, нельзя игнорировать, во-первых, тот факт, что системология занимается не какой-то общенаучной, а философской проблемой, изучая структуру отражения материи в нашем сознании, и, во-вторых, эта особенность, по-видимому, преходящая, поскольку раньше или позже и другие разделы философии будут вооружены математикой с целью придания им действенности и привязки к конкретной социальной практике.

Как следует из гл. 1, понятие системы применительно к нашим знаниям о мире в целом или об отдельных аспектах бытия подразумевает некую совокупность частей, элементов, дисциплин, наук, точек зрения и т.д., отражающих отдельные стороны бытия, но взаимосвязанных и взаимодействующих таким образом, что в результате они имитируют целостность, присущую объективной реальности, которую они отражают.

Таким образом, система – это категория отражения, форма представления материи доступными пониманию средствами. Что касается самой реальности, природы, то она континуальна, непрерывна и целостна, т.е. не содержит каких бы то ни было априорно заданных частей, которые мы выделяем в ней по собственному произволу для удобства изучения или представления, и которые никогда не встречаются в природе в отрыве друг от друга.

Особое место занимают материальные продукты человеческого труда – машины, приборы, технические комплексы, которые собираются из деталей, узлов и т.д., изготовленных отдельно и какое-то время, существующих вне связи друг с другом. Эти машины представляют собой системы деталей и узлов, поскольку являются продуктом нашего сознания и воплощают в себе способ нашего отражения возможностей объективной реальности в осуществлении тех или иных функций, т.е. воплощают нашу же дискретную логику.

Таким образом, материальные продукты сознательной человеческой деятельности, с одной стороны, – *системы*, если иметь в виду сознательно воплощённую в них логику функционирования, но, с другой стороны, они *континуальная целостность*, если рассматривать их онтологически вне связи с представлениями их создателей.

Итак, система – это способ воспроизведения и отражения континуальной целостности средствами нашего сознания, нашей логики. Другими словами, *система* – это дискретная модель непрерывного бытия.

Как и всякая модель, система может быть: *физической* моделью, когда она *чувственно* (по данным наших органов чувств и измерительных средств) подобна моделируемому объекту; либо *логической* (в том числе математической) моделью, когда её логика подобна логике моделируемого объекта; либо, наконец, *имитационной* (*прагматической*) моделью, когда только её целостное поведение (выход) аналогично моделируемому объекту.

Имитационные системы являются обычно частными моделями, не претендующими на адекватность исходному объекту во всех отношениях. Физические и логические модели, напротив, претендуют на адекватность отражения исходного объекта как в целом, так и в деталях, и даже приписывают свою системную структуру моделируемому объекту, что является распространённым заблуждением.

Иными словами, система – это ещё и диалектический синтез взаимно исключаящих друг друга требований точности и обзорности, а задачей прикладной системологии и системного анализа является выработка средств достижения компромисса между «проклятием размерности» и высокой точностью системного моделирования актуальных задач практической деятельности человека.

3.2.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ДИСКРЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

В гносеологии для отображения всех способов получения информации принят обобщающий термин «*отражение*», а для обозначения всех первичных источников информации, образующих существующую вне нас объективную реальность, принят обобщающий термин «*материя*». Таким образом, вместо перечисления всевозможных источников информации и способов её добывания из них можно просто говорить об *отражении материального мира (материи) в нашем сознании*, которое всегда происходит с помощью наших органов чувств, т.е. зрения, слуха, обоняния, осязания, вкуса (или технических допол-

нений – измерительных приборов, увеличивающих разрешающую способность органов чувств и доступных источников информации).

Согласно формуле познания «От живого созерцания к абстрактному мышлению, и от него – к практике», можно выделить три этапа отражения действительности: два пассивных – *чувственное* и *логическое* отражение, и один активный – этап *прагматического* отражения.

Соответственно продуктами этих этапов являются *чувственная*, *логическая* и *прагматическая* информация.

Чувственная информация J вводится как мера отражённой в нашем сознании элементной базы системы в форме

$$J = A / \Delta A, \quad (3.6)$$

где A – общее количество каких-либо знаков, воспринимаемых измерительными приборами или нашими органами чувств; ΔA – «квант», с точностью до которого нас интересует воспринимаемая информация, или разрешающая способность прибора.

Здесь необходимо пояснить принципиальное различие между A и J . Если A всегда принято выражать числом, которое является классическим математическим объектом и в силу этого удовлетворяет закону тождества $A \equiv A$, то об информации этого сказать нельзя.

Таким образом, в прагматическом аспекте информация всегда несёт в себе весьма значительный элемент субъективности и различна для разных людей при одном и том же A . Во-вторых, даже при фиксированном ΔA информация, строго говоря, не является числом, поскольку в пределах более или менее ограниченных ΔA она может иметь любое значение.

С другой стороны, два или несколько одинаковых измерительных прибора при измерении одной и той же величины в рамках их разрешающей способности могут дать различную информацию, но с одинаковой достоверностью. Это значит, что информация не удовлетворяет логическому закону исключённого третьего, не допускающему существование нескольких противоречивых, но одинаково истинных величин, но зато удовлетворяет диалектическому закону единства и борьбы противоположностей.

Итак, информация – это понятие, не поддающееся анализу средствами формальной логики и требующее применения к нему диалектической логики, которая обеспечивает возможность анализа не только абсолютно, но и относительно истинных высказываний. С этой точки зрения J аналогична высказываниям естественного языка, которые всегда носят размытый и относительно истинный характер. Однако, ввиду дуальной природы J (число и не число) информация в отличие от вербальных форм поддаётся некоторым (не всем) математическим операциям.

Логическая информация (сущность) H в отличие от J , всегда относящейся к конкретным объектам, или свойствам, характеризует целый класс однородных в определённом отношении объектов или свойств, являясь семантическим синтезом законов логики, правил функционирования системы и её элементов, образующих функционал её существования.

Согласно *основному закону классической логики Аристотеля, собственная сущность (суть) системы обратна объёму понятия по ней*, т.е.

$$H = J / n. \quad (3.7)$$

Объём понятия зависит от аспекта рассмотрения системы (элемента) и обычно предполагает родовую их принадлежность.

3.3. ИНФОРМАЦИЯ И ЭНТРОПИЯ

Энтропия характеризует недостающую информацию. В изучение любых систем человек вводит человеческий фактор, что приводит к неточностям. Для измерения, определения этих неточностей и существует понятие неопределённости.

3.3.1. ИНФОРМАЦИЯ КАК СВОЙСТВО МАТЕРИИ

Современное понятие информации и какую роль она играет в системах сложилось не сразу. Это понятие было получено из знаний различных отраслей науки. Так, например, Больцман в 1877 г. обронил такую фразу, что: «Энтропия характеризует недостающую информацию», но на эту фразу тогда никто не обратил внимания. Позже в 1948 г. Шелон вывел формулу для информационной энтропии, которая оказалась тождественна формуле, которую вывел Больцман для термодинамической энтропии. Получилось, что во всех отраслях вышли на понятие информации и её недостаточности. Современная информация установила неразрывную связь между этими явлениями. Философская теория тоже пришла к этой точке зрения, в философии изначальный смысл информации понимается как знание, известие, сообщение, т.е. нечто присущее человеческому сознанию и общению.

Однако для отражения реального мира этого было недостаточно и было доказано, что отражение реального мира является всеобщим свойством материи, а сознание человека является высшей, специфической формой отражения этой информации.

Свойство любого объекта (его состояние) находится всегда в соответствии с состоянием другого или других объектов, другими словами, один объект содержит информацию о другом. В современной философии информация, рассматривается как фундаментальное свойство материи. Поэтому роль информации в современных системах огромна. Понятие информации обладает всеобщностью и имеет смысл философской категории. Для кибернетики и теории систем понятие информации столь же фундаментально и важно как, например, понятие энергии для физики. Калмогоров (родоначальник кибернетики) сказал, что кибернетика – это наука, которая занимается изучением систем любой природы, способных воспринимать, хранить и перерабатывать информацию и использовать её для управления или регулирования.

Для того чтобы два объекта содержали информацию друг о друге, необходимо, чтобы между их состояниями существовало определённое соответствие. Такое соответствие может установиться только в результате физического взаимодействия между объектами, либо через промежуточные объекты.

Сигнал – это материальный носитель информации, средство перенесения информации во времени и пространстве, т.е. это состояние объекта, а любое состояние имеет сигнальные свойства.

В системах (искусственных) сигналы организуют специально, их создают, т.е. создаётся сигнальное состояние, которое называется кодом. Всегда на это соответствие между объектами, через передачу сигналов воздействуют помехи – шумы,

поэтому происходит нарушение этих состояний из-за рассогласования кодов, через которые взаимодействуют объекты. Иногда специально эти помехи создаются. Ярким примером этого явления является криптография – специальное рассекречивание кодов.

3.3.2. ТИПЫ СИГНАЛОВ

Поскольку сигналы служат для перенесения информации в пространстве и времени, то они должны быть устойчивы как по отношению к течению времени, так и к изменению положения в пространстве. Они делятся на:

- 1) статические;
- 2) динамические.

В первом случае сигналы являются стабильными во времени или не меняющимися, хотя бы в каком-то моменте времени.

Ко второму типу относятся сигналы, которые используются для описания динамических полей, например, звук (применяется модуляция и демодуляция).

Понятно, что динамические сигналы преимущественно используются для передачи сигналов, а статические – для хранения.

Сигналы играют в системах особую, очень важную роль. Если энергетические и/или вещественные потоки питают систему, то *потоки информации, переносимые сигналами, организуют её функционирование, управляют её работой*.

Виннер сказал, что общество простирается до тех пределов, до каких распространяется информация, это относится к любой системе, т.е. если мы берём систему общества, то она и развивается, и управляется с помощью информационных потоков, там, где информация прерывается, то вы уже вне общества.

3.3.3. ПОНЯТИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ. ЭНТРОПИЯ И ЕЁ СВОЙСТВА

Первым или специфическим понятием теории информации является понятие неопределённости случайного объекта. Для количественной оценки этой неопределённости было введено понятие, называемое энтропией, т.е. *энтропия – это количественная мера неопределённости*.

Начнём с простейшего варианта события, пусть некоторое событие может произойти с вероятностью 0,99 и не произойти с вероятностью 0,01, а другое событие имеет вероятность соответственно 0,5 и 0,5. Очевидно, что в первом случае результатом опыта, эксперимента почти наверняка является наступление события, а во втором случае неопределённость так велика, что от прогноза следует воздержаться.

В качестве меры неопределённости в теории информации было введено понятие, называемое энтропией случайного объекта или системы.

Если какой-либо объект A имеет состояние A_1, \dots, A_n а вероятность каждого из этих состояний p_1, \dots, p_n , то энтропия этого события

$$H(A) = -\sum_{k=1}^n p_k \log p_k. \quad (3.8)$$

Рассмотрим свойства этой энтропии:

- 1) Если вероятность наступления одного из n -событий = 1, то энтропия этого состояния = 0

$$H(p_1, \dots, p_n) = 0, \text{ при условии } p_i = 1.$$

- 2) Энтропия достигает своего небольшого значения в том случае, если вероятности p_1, \dots, p_n равны между собой, т.е. $H(p_1, \dots, p_n) = \max$, если:

$$p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = \frac{1}{n};$$

$$\sum p_i = 1; \quad p_i = 1/n.$$

- 3) Если объекты A и B независимы, то их энтропия равна сумме энтропий каждого объекта

$$H(A \cap B) = H\{p_k\} + H\{q_m\} = H(A) + H(B).$$

- 4) Если объекты A и B зависимы, то энтропия их

$$H(A \cap B) = H(A) + H(B/A),$$

т.е. при условии наступления события A .

- 5) Энтропия события $A \geq$ энтропии $H(A/B)$ события A при событии B

$$H(A) \geq H(A/B),$$

т.е. информация об объекте B всегда уменьшает неопределённость события A , если A и B зависимы, и не изменяются, если события A и B независимы.

Вывод: *свойства функционала H возможно использовать в качестве меры неопределённости*, причём следует отметить, что если пойти в обратном направлении, т.е. задать желаемые свойства меры неопределённости и искать обладаю-

щий указанными свойствами функционал, то условия 2 и 4 позволяют найти этот функционал, причём единственным образом.

Этот аппарат описывает дискретные события, связанные с описанием прерывных процессов, но на практике очень часто приходится сталкиваться с описанием неопределённости непрерывных случайных процессов и возникает ряд сложностей. Однако не вдаваясь в подробности, а произведя вот такую замену

$$\sum_{k=1}^n p_k \log p_k \rightarrow \int_x p(x) \log p(x) dx \text{ (сделаем замену ряда),}$$

то функционал (1) можно записать следующим образом

$$h(X) = - \int_x p(x) \log p(x) dx, \quad (3.9)$$

$p(x)$ – плотность вероятности наступления события, выраженное энтропией, называется дифференциал.

3.3.4. КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ

Процесс получения любой информации можно интерпретировать как изменение неопределённости в результате передачи сигналов. При этом полезный или отправляемый сигнал является последовательностью независимых символов с вероятностью $p(x_i)$, принимаемый сигнал является также набором символов y_k того же кодирования (алфавита), и если у нас отсутствует шум, воздействующий на эту передачу, то принимаемые и отправляемые сигналы $Y_k = X_m$, но поскольку при любой передаче у нас есть помехи, т.е. идёт искажение сигнала, то на приёмной, так и на передающей сторонах системы у нас появится неопределённость. На передающей стороне $H(X)$ – априорная энтропия, а на приёмной стороне $H(X/Y)$ – апостприорная.

Чтобы оценить количество информации, которое было передано от одного объекта к другому, берётся разность априорной и апостприорной информации. И количество информации в этом случае – разница между энтропиями

$$I(X, Y) = H(X) - H(X/Y). \quad (3.10)$$

Свойства количества информации:

1) Количество информации в случайном объекте X относительно объекта Y равно количеству информации в Y относительно X

$$I(X, Y) = I(Y, X).$$

2) Количество информации всегда неотрицательно

$$I(X, Y) = I(Y, X) \geq 0.$$

3) Для дискретных объектов X справедливо равенство

$$I(X, X) = I(X, X).$$

Таким образом, количество информации требует единицы измерения, за единицу энтропии принимают неопределённость случайного объекта, у которого энтропия его равна 1

$$H(X) = - \sum_{i=1}^k p_k \log p_k = 1.$$

Для конкретизации берётся $k=2$ и основание $\log m=2$, тогда получается тождество

$$-p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2 = 1.$$

Решением этого тождества является частный случай

$$p_1 = p_2 = \frac{1}{2}.$$

За единицу информации принята величина, называемая битом («БИТ»). Если мы берём за основание $\log e (\ln)$ (натуральный \log), то единица информации – «НИТ».

4. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Системный анализ как дисциплина сформировался в результате возникновения необходимости исследовать и проектировать сложные системы, управлять ими в условиях неполноты информации, ограниченности ресурсов и дефицита времени. Системный анализ является дальнейшим развитием целого ряда дисциплин, таких как исследование операций, теория оптимального управления, теория принятия решений, экспертный анализ, теория организации эксплуатации систем и т.д. Для успешного решения поставленных задач системный анализ использует всю совокупность формальных и неформальных процедур. Перечисленные теоретические дисциплины являются базой и методологической основой системного анализа. Таким образом, системный анализ – междисциплинарный курс, обобщающий методологию исследования сложных технических, природных и социальных систем [8]. Широкое распространение идей и методов системного анализа, а главное – успешное их применение на практике стало возможным только с внедрением и повсеместным использованием ЭВМ. Именно применение ЭВМ как инструмента решения сложных задач позволило перейти от построения теоретических моделей систем к широкому их практическому применению. В связи с этим Н.Н. Моисеев пишет [19], что системный анализ – это совокупность методов, основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных систем – технических, экономических, экологических и т.д. Центральной проблемой системного анализа является проблема принятия решения. Применительно к задачам исследования, проектирования и управления сложными системами проблема принятия решения связана с выбором определённой альтернативы в условиях различного рода неопределённости. Неопределённость обусловлена многокритериальностью задач оптимизации, неопределённостью целей развития систем, неоднозначностью сценариев развития системы, недостаточностью априорной информации о системе, воздействием случайных факторов в ходе динамического развития системы и прочими условиями. Учитывая данные обстоятельства, системный анализ можно определить как дисциплину, занимающуюся проблемами принятия решений в условиях, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы.

Главным содержанием дисциплины «Системный анализ» являются сложные проблемы принятия решений, при изучении которых неформальные процедуры представления здравого смысла и способы описания ситуаций играют не меньшую роль, чем формальный математический аппарат.

Системный анализ является дисциплиной синтетической. В нём можно выделить три главных направления. Эти три направления соответствуют трём этапам, которые всегда присутствуют в исследовании сложных систем:

- 1) построение модели исследуемого объекта;
 - 2) постановка задачи исследования;
 - 3) решение поставленной математической задачи.
- Рассмотрим данные этапы.

4.1.1. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

Построение модели (формализация изучаемой системы, процесса или явления) есть описание процесса на языке математики. При построении модели осуществляется математическое описание явлений и процессов, происходящих в системе. Поскольку знание всегда относительно, описание на любом языке отражает лишь некоторые стороны происходящих процессов и никогда не является абсолютно полным. С другой стороны, следует отметить, что при построении модели необходимо уделять основное внимание тем сторонам изучаемого процесса, которые интересуют исследователя. Глубоко ошибочным является желание при построении модели системы отразить все стороны существования системы. При проведении системного анализа как правило интересуются динамическим поведением системы, причём при описании динамики с точки зрения проводимого исследования есть первостепенные параметры и взаимодействия, а есть несущественные в данном исследовании параметры. Таким образом, качество модели определяется соответствием выполненного описания тем требованиям, которые предъявляются к исследованию, соответствием получаемых с помощью модели результатов ходу наблюдаемого процесса или явления. Построение математической модели есть основа всего системного анализа, центральный этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит результат всего системного анализа.

4.1.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На данном этапе формулируется цель анализа. Цель исследования предполагается внешним фактором по отношению к системе. Таким образом, цель становится самостоятельным объектом исследования. Цель должна быть формализована. Задача системного анализа состоит в проведении необходимого анализа неопределённостей, ограничений и формулировании, в конечном счёте, некоторой оптимизационной задачи

$$f(x) \rightarrow \max, \quad x \in G. \quad (4.1)$$

Здесь x – элемент некоторого нормированного пространства G , определяемого природой модели, $G \subset E$, где E – множество, которое может иметь сколь угодно сложную природу, определяемую структурой модели и особенностями исследуемой системы. Таким образом, задача системного анализа на этом этапе трактуется как некоторая оптимизационная проблема. Анализируя требования к системе, т.е. цели, которые предполагает достигнуть исследователь, и те неопределённости, которые при этом неизбежно присутствуют, исследователь должен сформулировать цель анализа на языке математики. Язык оптимизации оказывается здесь естественным и удобным, но вовсе не единственно возможным.

4.1.3. РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Только этот третий этап анализа можно отнести собственно к этапу, использующему в полной степени математические методы. Хотя без знания математики и возможностей её аппарата успешное выполнение двух первых этапов невозможно, так как и при построении модели системы, и при формулировании цели и задач анализа широкое применение должны находить методы формализации. Однако отметим, что именно на завершающем этапе системного анализа могут потребоваться тонкие математические методы. Но следует иметь в виду, что задачи системного анализа могут иметь ряд особенностей, которые приводят к необходимости применения наряду с формальными процедурами эвристических подходов. Причины, по которым обращаются к эвристическим методам, в первую очередь связаны с недостатком априорной информации о процес-

сах, происходящих в анализируемой системе. Также к таковым причинам можно отнести большую размерность вектора x и сложность структуры множества G . В данном случае трудности, возникающие в результате необходимости применения неформальных процедур анализа, зачастую являются определяющими. Успешное решение задач системного анализа требует использования на каждом этапе исследования неформальных рассуждений. Ввиду этого проверка качества решения, его соответствие исходной цели исследования превращается в важнейшую теоретическую проблему.

4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Системный анализ в настоящее время вынесен на самое острие научных исследований. Он призван дать научный аппарат для анализа и изучения сложных систем. Лидирующая роль системного анализа обусловлена тем, что развитие науки привело к постановке тех задач, которые призван решать системный анализ. Особенность текущего этапа состоит в том, что системный анализ, ещё не успев сформироваться в полноценную научную дисциплину, вынужден существовать и развиваться в условиях, когда общество начинает ощущать потребность в применении ещё недостаточно разработанных и апробированных методов и результатов и не в состоянии отложить решение связанных с ними задач на завтра. В этом источник как силы, так и слабости системного анализа: силы – потому, что он постоянно ощущает воздействие потребности практики, вынужден непрерывно расширять круг объектов исследования и не имеет возможности абстрагироваться от реальных потребностей общества; слабости – потому, что нередко применение «сырых», недостаточно проработанных методов системных исследований ведёт к принятию скороспелых решений, пренебрежению реальными трудностями.

Рассмотрим основные задачи, на решение которых направлены усилия специалистов и которые нуждаются в дальнейшей разработке. Во-первых, следует отметить задачи исследования системы взаимодействий анализируемых объектов с окружающей средой. Решение данной задачи предполагает:

- проведение границы между исследуемой системой и окружающей средой, предопределяющей предельную глубину влияния рассматриваемых взаимодействий, которыми ограничивается рассмотрение;
- определение реальных ресурсов такого взаимодействия;
- рассмотрение взаимодействий исследуемой системы с системой более высокого уровня.

Задачи следующего типа связаны с конструированием альтернатив этого взаимодействия, альтернатив развития системы во времени и в пространстве. Важное направление развития методов системного анализа связано с попытками создания новых возможностей конструирования оригинальных альтернатив решения, неожиданных стратегий, непривычных представлений и скрытых структур. Другими словами, речь здесь идёт о разработке методов и средств усиления индуктивных возможностей человеческого мышления в отличие от его дедуктивных возможностей, на усиление которых, по сути дела, направлена разработка формальных логических средств. Исследования в этом направлении начаты лишь совсем недавно, и единый концептуальный аппарат в них пока отсутствует. Тем не менее, и здесь можно выделить несколько важных направлений – таких, как разработка формального аппарата индуктивной логики, методов морфологического анализа и других структурно-синтаксических методов конструирования новых альтернатив, методов синтетики и организации группового взаимодействия при решении творческих задач, а также изучение основных парадигм поискового мышления.

Задачи третьего типа заключаются в конструировании множества имитационных моделей, описывающих влияние того или иного взаимодействия на поведение объекта исследования. Отметим, что в системных исследованиях не преследуется цель создания некоей супермодели. Речь идёт о разработке частных моделей, каждая из которых решает свои специфические вопросы.

Даже после того как подобные имитационные модели созданы и исследованы, вопрос о сведении различных аспектов поведения системы в некую единую схему остается открытым. Однако решить его можно и нужно не посредством построения супермодели, а анализируя реакции на наблюдаемое поведение других взаимодействующих объектов, т.е. путём исследования поведения объектов – аналогов и перенесения результатов этих исследований на объект системного анализа. Такое исследование даёт основание для содержательного понимания ситуаций взаимодействия и структуры взаимосвязей, определяющих место исследуемой системы в структуре суперсистемы, компонентом которой она является.

Задачи четвёртого типа связаны с конструированием моделей принятия решений. Всякое системное исследование связано с исследованием различных альтернатив развития системы. Задача системных аналитиков – выбрать и обосновать наилучшую альтернативу развития. На этапе выработки и принятия решений необходимо учитывать взаимодействие системы с её подсистемами, сочетать цели системы с целями подсистем, выделять глобальные и второстепенные цели.

Наиболее развитая и в то же время наиболее специфическая область научного творчества связана с развитием теории принятия решений и формированием целевых структур, программ и планов. Здесь не ощущается недостатка и в работах, и в активно работающих исследователях. Однако и в данном случае слишком многие результаты находятся на уровне неподтверждённого изобретательства и разночтений в понимании как существа стоящих задач, так и средств их решения. Исследования в этой области включают:

- а) построение теории оценки эффективности принятых решений или сформированных планов и программ;
- б) решение проблемы многокритериальности в оценках альтернатив решения или планирования;
- в) исследования проблемы неопределённости, особенно связанной не с факторами статистического характера, а с неопределённостью экспертных суждений и преднамеренно создаваемой неопределённостью, связанной с упрощением представлений о поведении системы;
- г) разработка проблемы агрегирования индивидуальных предпочтений на решениях, затрагивающих интересы нескольких сторон, которые влияют на поведение системы;
- д) изучение специфических особенностей социально-экономических критериев эффективности;
- е) создание методов проверки логической согласованности целевых структур и планов и установления необходимого баланса между предопределённостью программы действий и её подготовленностью к перестройке при поступлении новой информации как о внешних событиях, так и изменении представлений о выполнении этой программы.

Для последнего направления требуется новое осознание реальных функций целевых структур, планов, программ и определение тех, которые они *должны* выполнять, а также связей между ними.

Рассмотренные задачи системного анализа не охватывают полного перечня задач. Здесь перечислены те, которые представляют наибольшую сложность при их решении. Следует отметить, что все задачи системных исследований тесно взаимосвязаны друг с другом, не могут быть изолированы и решаться отдельно как по времени, так и по составу исполнителей. Бо-

лее того, чтобы решать все эти задачи, исследователь должен обладать широким кругозором и владеть богатым арсеналом методов и средств научного исследования.

4.3. ОСОБЕННОСТИ ЗАДАЧ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Конечной целью системного анализа является разрешение проблемной ситуации, возникшей перед объектом проводимого системного исследования (обычно это конкретная организация, коллектив, предприятие, отдельный регион, социальная структура и т.п.). Системный анализ занимается изучением проблемной ситуации, выяснением её причин, выработкой вариантов её устранения, принятием решения и организацией дальнейшего функционирования системы, разрешающего проблемную ситуацию. Начальным этапом любого системного исследования является изучение объекта проводимого системного анализа с последующей его формализацией. На этом этапе возникают задачи, в корне отличающие методологию системных исследований от методологии других дисциплин, а именно, в системном анализе решается двуединая задача. С одной стороны, необходимо формализовать объект системного исследования, с другой стороны, формализации подлежит процесс исследования системы, процесс постановки и решения проблемы. Приведём пример из теории проектирования систем. Современная теория автоматизированного проектирования сложных систем может рассматриваться как одна из частей системных исследований. Согласно ей проблема проектирования сложных систем имеет два аспекта. Во-первых, требуется осуществить формализованное описание объекта проектирования. Причём на этом этапе решаются задачи формализованного описания как статической составляющей системы (в основном формализации подлежит её структурная организация), так и её поведение во времени (динамические аспекты, которые отражают её функционирование). Во-вторых, требуется формализовать процесс проектирования. Составными частями процесса проектирования являются методы формирования различных проектных решений, методы их инженерного анализа и методы принятия решений по выбору наилучших вариантов реализации системы.

Важное место в процедурах системного анализа занимает проблема принятия решения. В качестве особенности задач, встающих перед системными аналитиками, необходимо отметить требование оптимальности принимаемых решений. В настоящее время приходится решать задачи оптимального управления сложными системами, оптимального проектирования систем, включающих в себя большое количество элементов и подсистем. Развитие техники достигло такого уровня, при котором создание просто работоспособной конструкции само по себе уже не всегда удовлетворяет ведущие отрасли промышленности. Необходимо в ходе проектирования обеспечить наилучшие показатели по ряду характеристик новых изделий, например, добиться максимального быстродействия, минимальных габаритов, стоимости и т.п. при сохранении всех остальных требований в заданных пределах. Таким образом, практика предъявляет требования разработки не просто работоспособного изделия, объекта, системы, а создания оптимального проекта. Аналогичные рассуждения справедливы и для других видов деятельности. При организации функционирования предприятия формулируются требования по максимизации эффективности его деятельности, надёжности работы оборудования, оптимизации стратегий обслуживания систем, распределения ресурсов и т.п.

В различных областях практической деятельности (технике, экономике, социальных науках, психологии) возникают ситуации, когда требуется принимать решения, для которых не удаётся полностью учесть предопределяющие их условия. Принятие решения в таком случае будет происходить в условиях неопределённости, которая имеет различную природу. Один из простейших видов неопределённости – неопределённость исходной информации, проявляющаяся в различных аспектах. В первую очередь, отметим такой аспект, как воздействие на систему неизвестных факторов.

Неопределённость, обусловленная неизвестными факторами, также бывает разных видов. Наиболее простой вид такого рода неопределённости – *стохастическая неопределённость*. Она имеет место в тех случаях, когда неизвестные факторы представляют собой случайные величины или случайные функции, статистические характеристики которых могут быть определены на основании анализа прошлого опыта функционирования объекта системных исследований.

Следующий вид неопределённости – *неопределённость целей*. Формулирование цели при решении задач системного анализа является одной из ключевых процедур, потому что цель является объектом, определяющим постановку задачи системных исследований. Неопределённость цели является следствием из многокритериальности задач системного анализа. Назначение цели, выбор критерия, формализация цели почти всегда представляют собой трудную проблему. Задачи со многими критериями характерны для крупных технических, хозяйственных, экономических проектов.

И, наконец, следует отметить такой вид неопределённости, как неопределённость, связанная с последующим влиянием результатов принятого решения на проблемную ситуацию. Дело в том, что решение, принимаемое в настоящий момент и реализуемое в некоторой системе, призвано повлиять на функционирование системы. Собственно для того оно и принимается, так как по идее системных аналитиков данное решение должно разрешить проблемную ситуацию. Однако поскольку решение принимается для сложной системы, то развитие системы во времени может иметь множество стратегий. И конечно же, на этапе формирования решения и принятия управляющего воздействия аналитики могут не представлять себе полной картины развития ситуации. При принятии решения существуют различные рекомендации прогнозирования развития системы во времени. Один из таких подходов рекомендует прогнозировать некоторую «среднюю» динамику развития системы и принимать решения исходя из такой стратегии. Другой подход рекомендует при принятии решения исходить из возможности реализации самой неблагоприятной ситуации.

В качестве следующей особенности системного анализа отметим роль моделей как средства изучения систем, являющихся объектом системных исследований. Любые методы системного анализа опираются на математическое описание тех или иных фактов, явлений, процессов. Употребляя слово «модель», всегда имеют в виду некоторое описание, отражающее именно те особенности изучаемого процесса, которые и интересуют исследователя. Точность, качество описания определяются, прежде всего, соответствием модели тем требованиям, которые предъявляются к исследованию, соответствием получаемых с помощью модели результатов наблюдаемому ходу процесса. Если при разработке модели используется язык математики, говорят о математических моделях. Построение математической модели является основой всего системного анализа. Это центральный этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит успешность всего последующего анализа. Однако в системном анализе наряду с формализованными процедурами большое место занимают неформальные, эвристические методы исследования. Этому есть ряд причин. Первая состоит в следующем. При построении моделей систем может иметь место отсутствие или недостаток исходной информации для определения параметров модели. В этом случае проводится экспертный опрос специалистов с целью устранения неопределённости или, по крайней мере, её уменьшения, т.е. опыт и знания специалистов могут быть использованы для назначения исходных параметров модели.

Ещё одна причина применения эвристических методов состоит в следующем. Попытки формализовать процессы, протекающие в исследуемых системах, всегда связаны с формулированием определённых ограничений и упрощений. Здесь важно не перейти ту грань, за которой дальнейшее упрощение приведёт к потере сути описываемых явлений. Иными слова-

ми, желание приспособить хорошо изученный математический аппарат для описания исследуемых явлений может исказить их суть и привести к неверным решениям. В этой ситуации требуется использовать научную интуицию исследователя, его опыт и умение сформулировать идею решения задачи, т.е. применяется подсознательное, внутреннее обоснование алгоритмов построения модели и методов их исследования, не поддающееся формальному анализу. Эвристические методы поиска решений формируются человеком или группой исследователей в процессе их творческой деятельности. Эвристика – это совокупность знаний, опыта, интеллекта, используемых для получения решений с помощью неформальных правил. Эвристические методы оказываются полезными и даже незаменимыми при исследованиях, имеющих нечисловую природу или отличающихся сложностью, неопределённостью, изменчивостью.

Наверняка при рассмотрении конкретных задач системного анализа можно будет выделить ещё какие-то их особенности, но, по мнению автора, отмеченные здесь особенности являются общими для всех задач системных исследований.

4.4. ПРОЦЕДУРЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

В предыдущем разделе были сформулированы три этапа проведения системного анализа. Эти этапы являются основой решения любой задачи проведения системных исследований. Суть их состоит в том, что необходимо построить модель исследуемой системы, т.е. дать формализованное описание изучаемого объекта, сформулировать критерий решения задачи системного анализа, т.е. поставить задачу исследования и далее решить поставленную задачу. Указанные три этапа проведения системного анализа являются укрупнённой схемой решения задачи. В действительности задачи системного анализа являются достаточно сложными, поэтому перечисление этапов не может быть самоцелью. Отметим также, что методика проведения системного анализа и руководящие принципы не являются универсальными – каждое исследование имеет свои особенности и требует от исполнителей интуиции, инициативы и воображения, чтобы правильно определить цели проекта и добиться успеха в их достижении. Неоднократно имели место попытки создать достаточно общий, универсальный алгоритм системного анализа. Тщательное рассмотрение имеющихся в литературе алгоритмов показывает, что у них большая степень общности в целом и различия в частностях, деталях. Постараемся изложить основные процедуры алгоритма проведения системного анализа, которые являются обобщением последовательности этапов проведения такого анализа, сформулированных рядом авторов [8], и отражают его общие закономерности.

Перечислим основные процедуры системного анализа:

- изучение структуры системы, анализ её компонентов, выявление взаимосвязей между отдельными элементами;
- сбор данных о функционировании системы, исследование информационных потоков, наблюдения и эксперименты над анализируемой системой;
- построение моделей;
- проверка адекватности моделей, анализ неопределённости и чувствительности;
- исследование ресурсных возможностей;
- определение целей системного анализа;
- формирование критериев;
- генерирование альтернатив;
- реализация выбора и принятие решений;
- внедрение результатов анализа.

4.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

4.5.1. ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для традиционных наук начальный этап работы заключается в постановке формальной задачи, которую надо решать. В исследовании сложной системы это промежуточный результат, которому предшествует длительная работа по структурированию исходной проблемы. Начальный пункт определения целей в системном анализе связан с формулированием проблемы. Здесь следует отметить следующую особенность задач системного анализа. Необходимость системного анализа возникает тогда, когда заказчик уже сформулировал свою проблему, т.е. проблема не только существует, но и требует решения. Однако системный аналитик должен отдавать себе отчёт в том, что сформулированная заказчиком проблема представляет собой приблизительный рабочий вариант. Причины, по которым исходную формулировку проблемы необходимо считать в качестве первого приближения, состоят в следующем. Система, для которой формулируется цель проведения системного анализа, не является изолированной. Она связана с другими системами, входит как часть в состав некоторой надсистемы, например, автоматизированная система управления отделом или цехом на предприятии является структурной единицей АСУ всего предприятия. Поэтому, формулируя проблему для рассматриваемой системы, необходимо учитывать, как решение данной проблемы отразится на системах, с которыми связана данная система. Неизбежно планируемые изменения затронут и подсистемы, входящие в состав данной системы, и надсистему, содержащую данную систему. Таким образом, к любой реальной проблеме следует относиться не как к отдельно взятой, а как к объекту из числа взаимосвязанных проблем.

При формулировании системы проблем системный аналитик должен следовать некоторым рекомендациям. Во-первых, за основу должно браться мнение заказчика. Как правило, в качестве такового выступает руководитель организации, для которой проводится системный анализ. Именно он, как было отмечено выше, генерирует исходную формулировку проблемы. Далее системный аналитик, ознакомившись со сформулированной проблемой, должен уяснить задачи, которые были поставлены перед руководителем, ограничения и обстоятельства, влияющие на поведение руководителя, противоречивые цели, между которыми он старается найти компромисс. Системный аналитик должен изучить организацию, для которой проводится системный анализ. Необходимо тщательно ознакомиться с существующей иерархией управления, функциями различных групп, а также предыдущими исследованиями соответствующих вопросов, если таковые проводились. Аналитик должен воздерживаться от высказывания своего предвзятого мнения о проблеме и от попыток втиснуть её в рамки своих прежних представлений ради того, чтобы использовать желательный для себя подход к её решению. Наконец, аналитик не должен оставлять непроверенными утверждения и замечания руководителя. Как уже отмечалось, проблему, сформулированную руководителем, необходимо, во-первых, расширять до комплекса проблем, согласованных с над- и подсистемами, и, во-вторых, согласовывать её со всеми заинтересованными лицами.

Следует также отметить, что каждая из заинтересованных сторон имеет своё видение проблемы, отношение к ней. Поэтому при формулировании комплекса проблем необходимо учитывать, какие изменения и почему хочет внести та или другая сторона. Кроме того, проблему необходимо рассматривать всесторонне, в том числе и во временном, историческом пла-

не. Требуется предвидеть, как сформулированные проблемы могут измениться с течением времени или в связи с тем, что исследование заинтересует руководителей другого уровня. Формулируя комплекс проблем, системный аналитик должен знать развёрнутую картину того, кто заинтересован в том или ином решении.

4.5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ

После того как сформулирована проблема, которую требуется преодолеть в ходе выполнения системного анализа, переходят к определению цели. Определить цель системного анализа – это означает ответить на вопрос, что надо сделать для снятия проблемы. Сформулировать цель – значит указать направление, в котором следует двигаться, чтобы разрешить существующую проблему, показать пути, которые уведут от существующей проблемной ситуации.

Формулируя цель, требуется всегда отдавать отчёт в том, что она имеет активную роль в управлении. В определении цели было отражено, что цель – это желаемый результат развития системы. Таким образом, сформулированная цель системного анализа будет определять весь дальнейший комплекс работ. Следовательно, цели должны быть реалистичны. Задание реалистичных целей направит всю деятельность по выполнению системного анализа на получение определённого полезного результата. Важно также отметить, что представление о цели зависит от стадии познания объекта, и по мере развития представлений о нём цель может быть переформулирована. Изменение целей во времени может происходить не только по форме, в силу всё лучшего понимания сути явлений, происходящих в исследуемой системе, но и по содержанию, вследствие изменения объективных условий и субъективных установок, влияющих на выбор целей. Сроки изменения представлений о целях, старения целей различны и зависят от уровня иерархии рассмотрения объекта. Цели более высоких уровней долговечнее. Динамичность целей должна учитываться в системном анализе.

При формулировании цели нужно учитывать, что на цель оказывают влияние как внешние по отношению к системе факторы, так и внутренние. При этом внутренние факторы являются такими же объективно влияющими на процесс формирования цели факторами, как и внешние.

Далее следует отметить, что даже на самом верхнем уровне иерархии системы имеет место множественность целей. Анализируя проблему, необходимо учитывать цели всех заинтересованных сторон. Среди множества целей желательно попытаться найти или сформировать глобальную цель. Если этого сделать не удастся, следует проранжировать цели в порядке их предпочтения для снятия проблемы в анализируемой системе.

Исследование целей заинтересованных в проблеме лиц должно предусматривать возможность их уточнения, расширения или даже замены. Это обстоятельство является основной причиной итеративности системного анализа.

На выбор целей субъекта решающее влияние оказывает та система ценностей, которой он придерживается, поэтому при формировании целей необходимым этапом работ является выявление системы ценностей, которой придерживается лицо, принимающее решение. Так, например, различают технократическую и гуманистическую системы ценностей. Согласно первой системе, природа провозглашается как источник неисчерпаемых ресурсов, человек-царь природы. Всем известен тезис: «Мы не можем ждать милостей от природы. Взять их у неё наша задача». Гуманистическая система ценностей говорит о том, что природные ресурсы ограничены, что человек должен жить в гармонии с природой и т.д. Практика развития человеческого общества показывает, что следование технократической системе ценностей приводит к пагубным последствиям. С другой стороны, полный отказ от технократических ценностей тоже не имеет оправдания. Необходимо не противопоставлять эти системы, а разумно дополнять их и формулировать цели развития системы с учётом обеих систем ценностей.

4.6. ГЕНЕРИРОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВ

Следующим этапом системного анализа является создание множества возможных способов достижения сформулированной цели. Иными словами, на данном этапе необходимо сгенерировать множество альтернатив, из которых затем будет осуществляться выбор наилучшего пути развития системы. Данный этап системного анализа является очень важным и трудным. Важность его заключается в том, что конечная цель системного анализа состоит в выборе наилучшей альтернативы на заданном множестве и в обосновании этого выбора. Если в сформированное множество альтернатив не попала наилучшая, то никакие самые совершенные методы анализа не помогут её вычислить. Трудность этапа обусловлена необходимостью генерации достаточно полного множества альтернатив, включающего в себя, на первый взгляд, даже самые нереализуемые.

Генерирование альтернатив, т.е. идей о возможных способах достижения цели, является настоящим творческим процессом. Существует ряд рекомендаций о возможных подходах к выполнению рассматриваемой процедуры. Необходимо сгенерировать как можно большее число альтернатив. Имеются следующие способы генерации [8]:

- а) поиск альтернатив в патентной и журнальной литературе;
- б) привлечение нескольких экспертов, имеющих разную подготовку и опыт;
- в) увеличение числа альтернатив за счёт их комбинации, образования промежуточных вариантов между предложенными ранее;
- г) модификация имеющейся альтернативы, т.е. формирование альтернатив, лишь частично отличающихся от известной;
- д) включение альтернатив, противоположных предложенным, в том числе и «нулевой» альтернативы (не делать ничего, т.е. рассмотреть последствия развития событий без вмешательства системотехников);
- е) интервьюирование заинтересованных лиц и более широкие анкетные опросы;
- ж) включение в рассмотрение даже тех альтернатив, которые на первый взгляд кажутся надуманными;
- з) генерирование альтернатив, рассчитанных на различные интервалы времени (долгосрочные, краткосрочные, экстренные).

При выполнении работы по генерированию альтернатив важно создать благоприятные условия для сотрудников, выполняющих данный вид деятельности. Большое значение имеют психологические факторы, влияющие на интенсивность творческой деятельности, поэтому необходимо стремиться к созданию благоприятного климата на рабочем месте сотрудников.

Существует ещё одна опасность, возникающая при выполнении работ по формированию множества альтернатив, о которой необходимо сказать. Если специально стремиться к тому, чтобы на начальной стадии было получено как можно больше альтернатив, т.е. стараться сделать множество альтернатив как можно более полным, то для некоторых проблем их количество может достичь многих десятков. Для подробного изучения каждой из них потребуются неприемлемо большие затраты времени и средств. Поэтому в данном случае необходимо провести предварительный анализ альтернатив и постараться

сузить множество на ранних этапах анализа. На этом этапе анализа применяют качественные методы сравнения альтернатив, не прибегая к более точным количественным методам. Тем самым осуществляется грубое отсеивание.

Приведем теперь методы, используемые в системном анализе, для проведения работы по формированию множества альтернатив.

4.7. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Системный анализ является прикладной наукой, его конечная цель – изменение существующей ситуации в соответствии с поставленными целями. Окончательное суждение о правильности и полезности системного анализа можно сделать лишь на основании результатов его практического применения.

Конечный результат будет зависеть не только от того, насколько совершенны и теоретически обоснованы методы, применяемые при проведении анализа, но и от того, насколько грамотно и качественно реализованы полученные рекомендации.

В настоящее время вопросам внедрения результатов системного анализа в практику уделяется повышенное внимание. В этом направлении можно отметить работы Р. Акоффа [1, 2]. Следует заметить, что практика системных исследований и практика внедрения их результатов существенно различаются для систем разных типов. Согласно классификации системы делятся на три типа: естественные, искусственные и социотехнические. В системах первого типа связи образованы и действуют природным образом. Примерами таких систем могут служить экологические, физические, химические, биологические и т.п. системы. В системах второго типа связи образованы в результате человеческой деятельности. Примерами могут служить всевозможные технические системы. В системах третьего типа, помимо природных связей, важную роль играют межличностные связи. Такие связи обусловлены не природными свойствами объектов, а культурными традициями, воспитанием участвующих в системе субъектов, их характером и прочими особенностями.

Системный анализ применяется для исследования систем всех трёх типов. В каждой из них есть свои особенности, требующие учёта при организации работ по внедрению результатов. Наиболее велика доля слабоструктурированных проблем в системах третьего типа. Следовательно, наиболее сложна практика внедрения результатов системных исследований в этих системах.

При внедрении результатов системного анализа необходимо иметь в виду следующее обстоятельство. Работа осуществляется на клиента (заказчика), обладающего властью, достаточной для изменения системы теми способами, которые будут определены в результате системного анализа. В работе должны непосредственно участвовать все заинтересованные стороны. Заинтересованные стороны – это те, кто отвечает за решение проблемы, и те, кого эта проблема непосредственно касается. В результате внедрения системных исследований необходимо обеспечить улучшение работы организации заказчика с точки зрения хотя бы одной из заинтересованных сторон; при этом не допускаются ухудшения этой работы с точки зрения всех остальных участников проблемной ситуации.

Говоря о внедрении результатов системного анализа, важно отметить, что в реальной жизни ситуация, когда сначала проводят исследования, а затем их результаты внедряют в практику, встречается крайне редко, лишь в тех случаях, когда речь идёт о простых системах. При исследовании социотехнических систем они изменяются с течением времени как сами по себе, так и под влиянием исследований. В процессе проведения системного анализа изменяются состояние проблемной ситуации, цели системы, персональный и количественный состав участников, соотношения между заинтересованными сторонами. Кроме того, следует заметить, что реализация принятых решений влияет на все факторы функционирования системы. Этапы исследования и внедрения в такого типа системах фактически сливаются, т.е. идёт итеративный процесс. Проводимые исследования оказывают влияние на жизнедеятельность системы, и это видоизменяет проблемную ситуацию, ставит новую задачу исследований. Новая проблемная ситуация стимулирует дальнейшее проведение системного анализа и т.д. Таким образом, проблема постепенно решается в ходе активного исследования.

5. РОЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ В СОЗДАНИИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ

Системный анализ часто приводит к необходимости экспериментального исследования изучаемой системы. Часто такие эксперименты поручают специалистам в данной предметной области. Но от системного аналитика зависит постановка цели опытов и извлечение полной информации из результатов опытов. Поэтому при проведении системного анализа необходимо знать: как организовать и провести эксперимент, какую шкалу максимально допустимой силы можно выбрать для измерений, какие методы обработки (преобразования) применимы к исходным данным, каким образом в алгоритмах обработки учесть реальные особенности протоколов наблюдений.

5.1. ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛЬ

Отношение между экспериментом и моделью такое же, как между курицей и яйцом: они находятся в одном цикле, и нельзя определить, что было «в самом начале».

Модель строится на основании некоторых фактов, полученных в результате наблюдений (пассивного эксперимента). Чтобы уточнить модель, вновь проводится эксперимент. Но постановка этого эксперимента зависит от той модели, которая уточняется и т.д. Розенблют А. и Винер Н.: «Любой эксперимент – всегда некий вопрос. Если вопрос неточен, получить точный ответ на него трудно. Глупые ответы, т.е. противоречивые, расходящиеся друг с другом или не относящиеся к делу результаты экспериментов, обычно указывают на то, что сам вопрос был поставлен глупо».

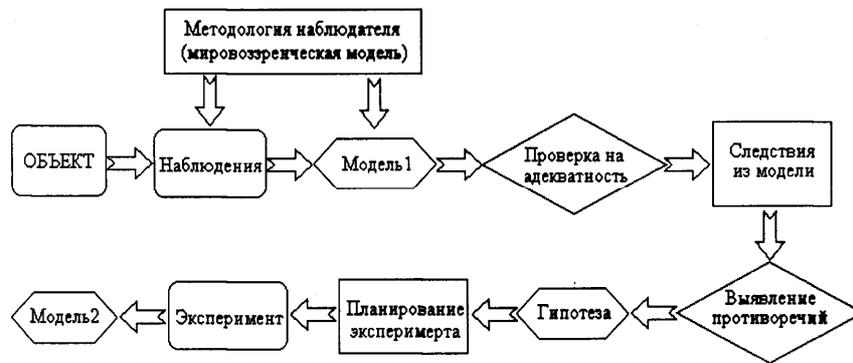


Рис. 5.1. Схема отношения модели и эксперимента

Пригожий И., Стенгерс И.: «Экспериментальный метод есть искусство постановки интересного вопроса и перебора всех следствий, вытекающих из лежащей в основе его теоретической схемы, всех ответов, которые могла бы дать природа на выбранном экспериментатором теоретическом языке»

Котари Д.С.: «Простая истина состоит в том, что ни измерение, ни эксперимент, ни наблюдение невозможны без соответствующей теоретической схемы». На рис. 5.1 представлена схема отношений модели и эксперимента.

5.2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ШКАЛЫ

В жизни мы привыкли пользоваться количественными показателями, выраженными в разных измерительных шкалах.

Можно записать, что вес тела равен 5 кг, но можно использовать и другую шкалу – 5000 г или 0,005 т, но можно указать интервал: «вес тела больше 3 кг и меньше 10 кг» или «вес тела в пределах первого десятка».

Вместо «750 мм ртутного столба» можно записать «1000 гектопаскалей», а можно указать, что «атмосферное давление несколько выше нормы».

«451 градус по Фаренгейту» (температура возгорания бумаги, см. одноименное произведение Р. Бредбери) – это «232,78 градусов Цельсия» или «505,93 градусов Кельвина».

Понятия «шкала измерения», «тип шкалы», «допустимые преобразования» играют важную роль в теории измерений.

Существуют следующие измерительные шкалы.

5.2.1. ДИХОТОМИЧЕСКАЯ ШКАЛА

Дихотомическая шкала, которая позволяет отметить, относится ли данный объект к интересующей нас группе или нет.

Две сравниваемые переменные X (семейное положение) и Y (отчисление из института) измеряются в дихотомической шкале (табл. 5.1).

Вычисление коэффициента корреляции Пирсона для дихотомических данных. Общая форма таблицы сопряженности (табл. 5.2).

$$K = \frac{BC - AD}{\sqrt{(A + C)(B + D)(A + B)(C + D)}}$$

В нашем случае:

$$A = 2, B = 3, C = 4, D = 1, K = (12 - 2) / \sqrt{6 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5} = 0,32.$$

Таблица 5.1

№ испытуемого	Значение X	Значение Y
1	0	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0
5	1	1
6	1	0
7	0	0
8	1	1
9	0	0
10	0	1

Признак X \ Признак Y	0	1	Всего
1	A	B	A + B
0	C	D	C + D
Всего	A + C	B + D	

5.2.2. ШКАЛА НАИМЕНОВАНИЙ

Шкала наименований (номинальная), в которой числа используются исключительно с целью обозначения объектов. Кроме сравнения на совпадение, любые арифметические действия над числами, обозначающими имена объектов, бессмысленны. С помощью шкалы наименований часто отмечают, присутствует или отсутствует какой-то признак в объекте.

Аксиомы тождества:

$$1^*. A = A;$$

$$2^*. A = B \Rightarrow B = A;$$

$$3^*. A = B \text{ и } B = C \Rightarrow A = C.$$

Допустимые операции:

$$- \text{ символ Кронекера } \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & x_i = x_j; \\ 0, & x_i \neq x_j; \end{cases}$$

$$- \text{ число наблюдений } k\text{-го класса } n_k = \sum_{i=1}^n \delta_{kj};$$

$$- \text{ относительная частота класса } p_k = \frac{n_k}{n};$$

$$- \text{ мода } k_{\max} = \arg \max_k (p_k);$$

- коэффициент согласия (конкордации);

- проверка по тесту χ^2 .

5.2.3. ШКАЛА ПОРЯДКОВ (РАНГОВЫЕ ШКАЛЫ)

Шкала порядков (ранговые шкалы), при измерении в которой мы получаем информацию лишь о том, в каком порядке объекты следуют друг за другом по какому-то свойству. Примером могут служить шкалы, по которым измеряются твёрдость материалов, «похожесть» объектов. К этой группе шкал относится большинство шкал, используемых в социологических и психологических исследованиях. Частным случаем шкал порядка являются балльные шкалы, используемые в практике спортивного судейства или оценок знаний в школе.

Аксиомы упорядоченности:

(шкала простого порядка)

(шкала слабого порядка)

$$4^*. \text{ Если } A > B, \text{ то } B < A$$

$$4'. \text{ Либо } A \geq B \text{ либо } B \geq A$$

$$5^*. \text{ Если } A > B \text{ и } B > C, \text{ то } A > C$$

$$5'. \text{ Если } A \geq B \text{ и } B \geq C, \text{ то } A \geq C$$

Существует ещё шкала частичного порядка. «Частичный порядок» часто встречается при оценке субъективных предпочтений.

Примеры.

а) Более длинный отпуск предпочтительнее уменьшения рабочего дня на полчаса. Уменьшение рабочего дня на полчаса предпочтительнее повышения зарплаты на 500 р. Но необязательно более длинный отпуск предпочтительнее повышения зарплаты на 500 р.

б) Что лучше: клетчатые шарфы или семискоростные миксеры; чтение литературы или прослушивание музыкальных записей.

Важно: отношение порядка ничего не говорит о дистанции между сравниваемыми классами. Поэтому порядковые экспериментальные данные, даже если они выражены числами, нельзя рассматривать как числа, например, нельзя вычислять выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Допустимые операции:

- ранг объёма

$$R_i = \sum_{j=1}^n C(x_i - x_j), \text{ где } C(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0; \\ 1, & t < 0, \end{cases} (1 \leq R \leq n).$$

Ранги можно присваивать по старшему в группе одинаковых, по среднему, либо случайным образом.

- выборочная медиана, т.е. наблюдение с рангом R_i , ближайшее к $n/2$;

- выборочные квантили любого уровня p ($0 < p < 1$), т.е. наблюдение с рангом R_i , ближайшим к np ;

- коэффициенты корреляции r_s (Спирмена), (Кендалла)

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2;$$

$$\tau = \frac{1}{0,5n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij} s_{ij}, \quad i < j.$$

Здесь

$$z_{ij} = \begin{cases} 0, & a_i = a_j; \\ 1, & a_i < a_j; \\ -1, & a_i > a_j; \end{cases} \quad s_{ij} = \begin{cases} 0, & b_i = b_j; \\ 1, & b_i < b_j; \\ -1, & b_i > b_j; \end{cases}$$

$$r_s = 1 - \frac{6}{5 \cdot 24} 12 = 0,4;$$

$$\tau = \frac{1}{0,5 \cdot 5 \cdot 4} 2 = 0,2.$$

Примеры порядковых шкал:

1. Шкала твёрдости по Моору (1811 г.): из двух минералов твёрже тот, который оставляет на другом царапины или вмятины при достаточно сильном соприкосновении.
2. Эталоны: 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальций, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз.
3. Шкала силы ветра по Бофарту (1806 г.). Сила ветра определяется по волнению моря: 0 – штиль, 4 – умеренный ветер, 6 – сильный ветер, 10 – шторм (буря), 12 – ураган.
4. Шкала магнитуд землетрясений по Рихтеру (1935 г.) – 12-балльная шкала для оценки энергии сейсмических волн в зависимости и последствий прохождения их по данной территории.
5. Балльные шкалы оценки знаний учащихся.

5.2.4. ШКАЛА ИНТЕРВАЛОВ

Шкала интервалов, в которой можно менять как начало отсчёта, так и единицы измерения.

Если упорядочивание объектов можно выполнить настолько точно, что известны расстояния между любыми двумя из них, то измерение оказывается значительно сильнее, чем в шкале порядка. Естественно выражать все измерения в единицах, хотя и произвольных, но одинаковых по всей длине шкалы. Следствием такой равномерности шкал этого класса является независимость отношения двух интервалов от того, в какой из шкал эти интервалы измерены (т.е. какова единица длины и какое значение принято за начало отсчёта).

Если в одной шкале измеренные интервалы равны Δ_1x и Δ_2x , а во второй – Δ_1y и Δ_2y , то справедливо соотношение: $\Delta_1x / \Delta_2x = \Delta_1y / \Delta_2y$.

В этой шкале только интервалы могут иметь смысл настоящих чисел, допускающих математические действия с ними.

Примерами шкал интервалов могут быть шкалы для измерения температуры (Цельсия, Кельвина ($K = 273 + C$), Фаренгейта ($F = 5/9C + 32$)), давления, промежутков времени и т.п.

Допустимые операции – определение интервала между двумя измерениями.

Над интервалами – любые арифметические или статистические операции.

5.2.5. ШКАЛА ОТНОШЕНИЙ

Шкала отношений, в которой начало отсчёта неизменно, а единицы измерения можно изменять (масштабировать).

Аксиомы аддитивности.

6°. Если $A = P$ и $B > 0$, то $A + B > P$;

7°. $A + B = B + A$;

8°. Если $A = P$ и $B = Q$, то $A + B = P + Q$;

9°. $(A + B) + C = A + (B + C)$.

Измерения в этой шкале являются полноправными числами, с ними можно выполнять любые арифметические действия.

Этот класс шкал обладает следующей особенностью: отношение двух наблюдаемых значений измеряемой величины не зависит от того, в какой из шкал произведены измерения, т.е. $x_1 / x_2 = y_1 / y_2$.

Примерами шкал отношений являются шкалы для измерения веса, длины и т.п.

5.2.6. АБСОЛЮТНАЯ ШКАЛА

Абсолютная шкала, результатом измерения в которой является число, выражающее количество элементов в множестве. В данной шкале начало отсчёта и единицы измерения неизменны. Числа, полученные по такой шкале, можно складывать, вычитать, делить, умножать – все эти действия будут осмысленными.

Из перечисленных шкал абсолютная шкала является самой «сильной», а номинальная – самой «слабой». Действительно, из абсолютных данных можно узнать всё то, что могут дать любые другие шкалы, но не наоборот. Из того, что в группе A – 15 студентов, в группе B – 20, а в группе C – 30, можно узнать:

- в A студентов в 2 раза меньше, чем в C (шкала отношений);
- в B студентов на 10 человек меньше, чем в C (шкала интервалов);
- в A студентов просто меньше, чем в B и C (шкала порядка);
- в A , B , C студентов не одно и то же количество (шкала наименований).

Использовать только абсолютные шкалы не всегда целесообразно. Для получения информации о свойствах, измеряемых в сильных шкалах, требуются более совершенные (сложные, дорогие) измерительные приборы и процедуры. К тому же, таких приборов и процедур для измерения многих характеристик просто нет. Например, можно выяснить, чего данному человеку хочется больше – чая или кофе, но определить, насколько больше или во сколько раз, затруднительно.

5.3. ТИПЫ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ШКАЛ

5.3.1. ШКАЛА НАИМЕНОВАНИЙ

Если различные градации шкалы измерения показателя нельзя упорядочить по условию «больше – меньше» («лучше – хуже») или расположить в порядке появления во времени, то такая совокупность градаций образует шкалу наименований.

Шкалу наименований имеют упомянутые выше показатели «Марки кабелей для УЭЦН», «Виды стружки» и другие, градации которых могут быть заданы только в виде перечня. В частности, шкала, содержащая всего две градации – «есть» и «нет» (дихотомическая) – также является шкалой наименований. Характеристикой центральной тенденции (среднего) на шкале наименований может служить «мода» – значение показателя, которое указано наибольшим числом экспертов, или же наибольшее число раз встретилось в проведённом статистическом исследовании (если речь идёт, например, о видах дефектов продукции). Для небольшого числа оценок эта характеристика также теряет смысл, и тогда центральную тенденцию характеризовать невозможно. Если в распределении двум (или нескольким) каким-либо значениям показателя соответствуют приблизительно одинаковые числа оценок, распределение называют бимодальным (полимодальным).

Общепринятой характеристики рассеяния данных на шкале наименований нет. На практике часто используют проценты данных, относящихся к различным градациям. Для целей квалиметрического анализа более или менее рациональной характеристикой рассеяния может служить показатель хиквадрат (χ^2) Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{o_i},$$

где o_i – ожидаемое число оценок в i -й градации шкалы, причём ожидаемое число рассчитывают по формуле

$$o_i = \frac{1}{k} \sum e_i;$$

e_i – фактическое (экспериментальное) число оценок в i -й градации; k – число градаций.

При этом чем больше значение χ^2 , тем меньше рассеяние. Максимальному рассеянию (равномерному распределению) соответствует $\chi^2 = 0$.

Если вычисленное значение χ^2 превосходит критическое χ_{90}^2 (или χ_{95}^2), то следует считать, что с вероятностью более 90 % (или более 95 %) полученное распределение не случайно, т.е. на модальную градацию действительно приходится достоверно большая часть оценок. Но это утверждение относится лишь к оценкам, полученным инструментальным или статистическим (не экспертным) способом, например, к оценкам видов дефектов изделий, отмеченных при контроле. Если же речь идёт об экспертных оценках, то для выяснения того, что является «истинным» суждением экспертной группы, формальное применение статистических критериев недопустимо. Здесь необходимо в той или иной форме провести обсуждение причин рассогласованности и, далее, либо выработать общеприемлемое решение, либо проводить дальнейшую квалиметрическую разработку в нескольких вариантах.

Для шкалы наименований нет также общепринятых критериев того, какие из отдельных оценок следует считать аномальными и в каких случаях распределение оценок является бимодальным. Ориентировочно можно считать, что если количества оценок в тех двух градациях, где они максимальны, относятся как 3 : 1 или меньше, то распределение бимодально. Если эти количества относятся как 5 : 1 или больше, то оценки, относящиеся ко всем градациям, кроме модальной, можно рассматривать как аномальные. Однако эти критические отношения могут быть приняты иными в зависимости от существа задачи.

5.3.2. ШКАЛА ПОРЯДКА

Если отдельные градации показателя можно расположить в порядке нарастания выраженности показателя или же упорядочить по условию «лучше – хуже», или же расположить в порядке развития некоторого процесса во времени, то такая совокупность градаций образует шкалу порядка. Например, показатели «Интенсивность окраски» («яркая», «обычная», «тусклая»), «Моральный износ оборудования» («незначительный», «умеренный», «недопустимый») имеют шкалы порядка.

При общей простоте принципа построения шкалы порядка способы представления градаций бывают самыми различными. Чаще всего применяют словесные описания градаций. Однако градации шкалы могут представлять собой последовательность рисунков, иллюстрирующих различные проявления показателя в упорядоченном ряду, звуковые сигналы или пахучие объекты, упорядоченные в некоторой желаемой последовательности, движущиеся изображения, показывающие последовательность изменений показателя во времени и др.

Инженеру-квалиметрологу часто приходится принимать участие в оценивании новых предложений, инноваций (проектов исследований, бизнес-планов, видов продукции, предлагаемой к выпуску и т.п.) с точки зрения перспектив их использования, т.е. определять их обоснованность, новизну, предполагаемую экономическую эффективность и т.п. Эти показатели качества предложений также выражают, как правило, в порядковых шкалах. Если требуется составить описания градаций некоторого физически измеримого показателя, то, как правило, достаточно воспроизводимыми будут уже и краткие описания. Например, приведённая в ГОСТ шкала для оценивания качества технического вазелина по показателю «Консистенция» имеет следующий вид.

- *Консистенция полностью соответствует эталону.*
- *Небольшие изменения консистенции: единичные зёрна или комки, незначительно снижена способность вытягивания в нить.*
- *Умеренные изменения консистенции: встречаются скопления зёрен и комки, снижена способность вытягивания в нить.*
- *Заметные изменения консистенции: ошутимая зернистость и комковатость, при повышении температуры наблюдается разделение твёрдой и жидкой фаз, резко снижена способность вытягивания в нить.*

Эти словесные описания хорошо отработаны, т.е. проверено, что они одинаково понимаются всеми специалистами, что и обеспечивает высокую воспроизводимость.

Но во многих практических задачах оценивания качества (особенно в нетехнических областях приложения квалиметрии: пищевой продукции, медицине, сельском хозяйстве) встречаются показатели, для различных проявлений которых крайне трудно составить словесные описания. Таковы «колерные» шкалы, представляющие собой различные оттенки множества цветов, используемых при окраске поверхностей. Также трудно словесно описать варианты рисунка поверхности сыра или колбасы на разрезе, различные стадии развития какой-либо язвы, изменения структуры металла при его обработке и т.п. Во всех этих случаях применяют рисуночные изображения градаций шкалы.

Многие показатели, имеющие, казалось бы, количественную шкалу измерения, фактически также имеют шкалу порядка, так как в силу своей изменчивости не могут быть измерены достаточно точно. Например, «Подвижность воздуха на рабочем месте» фактически определяется по диапазонам «0 – 0,2», «0,2 – 0,5» ... м/с и т.д. Также обстоит дело с определением концентраций загрязняющих веществ в атмосфере или воде (при оценивании качества окружающей среды), частоты возникновения аварийных ситуаций на транспорте и во многих других случаях.

Затронем вопрос об оптимальном и допустимом количестве градаций шкалы порядка.

Применяемые в квалиметрических методиках шкалы порядка имеют обычно от 5 до 9 градаций. Это обусловлено тем, что, как установлено в психофизиологии, на протяжении непрерывного спектра проявлений некоторого показателя большинство людей (не прошедших специальную подготовку) уверенно различают 7 ± 2 градации. Таково происхождение семи цветов радуги, семи тонов хроматической гаммы рояля, семи степеней видимой яркости звезд, пять, семь и девять градаций шкалы интенсивности мнений, применяемых в социологии. Но если составить достаточно подробные описания, снабдить их рисунками, фотографиями, звуковыми или обонятельными эталонами, то принципиально возможно сколь угодно подробное определение качественно различных проявлений показателя. (Такие тщательно отработанные, высоковоспроизводимые характеристики отдельных проявлений показателя называют реперными градациями или реперными точками). Например, в медицине, при описании состояния больного используют показатели, содержащие до 15 – 20 градаций.

Особый случай шкалы порядка представляет собой «эталонный ряд», в котором реперные точки определены объектами, расположенными по нарастаю гармоничности сочетания в них всех элементов конструкции, т.е. по целостному эстетическому впечатлению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Завершая изложение основ теории систем и системного анализа, попытаемся сформулировать определения этих научных направлений, кратко охарактеризовать основные их особенности.

Дать определение теории систем несложно.

Теория систем – наука об общих закономерностях построения, функционирования и развития систем различной физической природы, о методах их исследования.

Для всех направлений прикладных системных исследований характерны следующие особенности:

1. Применяются в тех случаях, когда задача (проблема) не может быть сразу представлена и решена с помощью формальных, математических методов, т.е. имеет место большая начальная неопределённость проблемной ситуации.
2. Помогают организовать процесс коллективного принятия решения, объединяя специалистов различных областей знаний.
3. Уделяют внимание процессу постановки задачи и применяют не только формальные методы.
4. Опираются на основные понятия теории систем и философские концепции, лежащие в основе исследования общесистемных закономерностей.
5. Для организации процесса исследования и принятия решения при проведении системного анализа разрабатывается методика, определяющая последовательность этапов проведения анализа и методы их выполнения, объединяющих специалистов различных областей знаний.
6. Важной особенностью системного анализа является исследование процессов целеобразования и разработка средств работы с целями (методик, структуризации целей). Иногда даже системный анализ определяют как методологию исследования целенаправленных систем.

Естественно, что в такой широкой постановке существуют различные школы системного анализа, занимающиеся применением теории систем к исследованию разных сфер – от стратегического планирования и управления предприятиями, регионами, страной до управления проектами технических комплексов и принятия решений по отдельным видам деятельности при возникновении различных проблемных ситуаций в процессе функционирования социально-экономических и технических объектов.

Системный анализ требует дальнейшего исследования особенностей и закономерностей самоорганизующихся систем; развития информационного подхода, основанного на диалектической логике; подхода, основанного на постепенной формализации моделей принятия решений на основе сочетания формальных методов и методик; становления теории системно-структурного синтеза; разработки методов организации сложных экспертиз, повышающих объективность анализа проблемных ситуаций с неопределённостью; расширения сфер приложения к исследованию систем логико-лингвистического, семиотического и когнитивного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акофф, Р. Основы исследования операций / Р. Акофф, М. Сасиенн. – М. : Мир, 1971. – 534 с.
2. Акофф, Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М. : Советское радио, 1974. – 272 с.
3. Анохин, П.К. Избранные труды: философские аспекты теории систем / П.К. Анохин. – М. : Наука, 1978.
4. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В.С. Анфилатов и др. ; под ред. А.А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
5. Берталанфи Л. Фон. История и статус общей теории систем / Берталанфи Л. Фон // Системные исследования : ежегодник. – М. : Наука, 1973. – С. 20 – 37.
6. Берталанфи Л. Фон. Общая теория систем: критический обзор / Берталанфи Л. Фон // Исследования по общей теории систем. – М. : Прогресс, 1969. – С. 23 – 82.
7. Богданов, А.А. Всеобщая организационная наука: тектология : в 2 кн. / А.А. Богданов. – М., 1905 – 1924.
8. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа : учебник для вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – 3-е изд. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2003.
9. Волкова, В.Н. Системный анализ и его применение в АСУ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – Л. : ЛПИ, 1983. – 83 с.
10. Воронов, А.А. Основы теории автоматического управления / А.А. Воронов. – М. : Энергия, 1980. – Т. 1.
11. Директор, С. Введение в теорию систем / С. Директор, Д. Рорар. – М. : Мир, 1974. – 286 с.
12. Клир, Д. Системология / Д. Клир. – М. : Радио и связь, 1973. – 262 с.
13. Коффман, А. Сетевые методы планирования и их применение / А. Коффман, Г. Дебазей. – М. : Прогресс, 1968.
14. Кривцов, А.М. Сетевое планирование и управление / А.М. Кривцов, В.В. Шеховцов. – М. : Экономика, 1965. – 67 с.
15. Литвак, Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. – М. : Радио и связь, 1982. – 184 с.
16. Лопухин, М.М. ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ / М.М. Лопухин. – М. : Советское радио, 1971. – 160 с.
17. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, И. Такахара. – М. : Мир, 1978. – 311 с.
18. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М. : Мир, 1973.
19. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981.
20. Оптнер, С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. – М. : Советское радио, 1969. – 216 с.
21. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных АСУ / под ред. Ф.И. Перегудова. – Томск : Изд-во ТГУ, 1976. – 440 с.
22. Основы общей теории систем : учеб. пособие. – СПб. : ВАС, 1992. – Ч. 1.
23. Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ : учеб. пособие / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М. : Высшая школа, 1989. – 367 с.
24. Рыбников, К.А. История математики : учебник / К.А. Рыбников. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 496 с.
25. Стройк, Д.Я. Краткий очерк истории математики / Д.Я. Стройк. – М. : Наука, 1990. – 253 с.
26. Степанов, Ю.С. Семиотика / Ю.С. Степанов. – М. : Наука, 1971. – 145 с.
27. Сыроежин, И.М. Азбука сетевых планов / И.М. Сыроежин. – М. : Экономика, 1966. – Вып. 1.
28. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков, А.А. Денисов и др. – М. : Радио и связь, 1983. – 248 с.
29. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. – М. : Высшая школа, 1977. – 351 с.
30. Черчмен, У. Введение в исследование операций / У. Черчмен и др. – М. : Наука, 1968.
31. Янч, Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. – М. : Прогресс, 1974. – 164 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	5
1.1. Развитие и возникновение системных представлений	5
1.2. Понятие системы	6
1.3. Состояние и функционирование системы	9
1.4. Функции обратной связи	13
1.5. Структура системы	15
1.5.1. Виды структур	16
1.5.2. Сравнительный анализ структур	18
1.6. Классификация систем	19
1.7. Закономерности и принципы целеобразования	24
1.7.1. Закономерности возникновения и формулирования целей	24
1.7.2. Закономерности формирования структур целей	26
2. МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕОРИИ СИСТЕМ	27

2.1. Определение понятия модель и моделирование	27
2.1.1. Назначение моделей	29
2.1.2. Виды моделей	30
2.1.3. Уровни моделирования	32
2.2. Классификации методов моделирования систем	35
2.2.1. Аналитические и статистические методы	38
2.2.2. Теоретико-множественные представления	42
2.2.3. Математическая логика	43
2.2.4. Лингвистические и семиотические представления	43
2.2.5. Графические методы	45
2.2.6. Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов	45
2.2.7. Методы типа «мозговой атаки» или коллективной генерации идей	46
2.2.8. Методы типа «сценариев»	46
2.2.9. Методы структуризации	47
2.2.10. Методы типа «дерева целей»	48
2.2.11. Методы экспертных оценок	48
2.2.12. Методы типа «Дельфи»	48
2.2.13. Методы организации сложных экспертиз	49
2.3. Модели систем	49
2.3.1. Модель состава системы	51
2.3.2. Модель структуры системы	52
3. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СИСТЕМ	55
3.1. Теория информационного поля	55
3.1.1. Материальное единство мира	55
3.1.2. Адекватность отражения. Чувственная информация	57
3.1.3. Поле движения материи. Информационный ток	58
3.2. Дискретные информационные модели	59
3.2.1. Система как дискретная модель непрерывного бытия	59
3.2.2. Основные понятия дискретных информационных моделей	61
3.3. Информация и энтропия	62
3.3.1. Информация как свойство материи	63
3.3.2. Типы сигналов	64
3.3.3. Понятие неопределённости. Энтропия и её свойства	64
3.3.4. Количество информации	66
4. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ	68
4.1. Определения системного анализа	68
4.1.1. Построение модели	69
4.1.2. Постановка задачи исследования	69
4.1.3. Решение поставленной математической задачи	70
4.2. Характеристика задач системного анализа	70
4.3. Особенности задач системного анализа	73
4.4. Процедуры системного анализа	75
4.5. Определение целей системного анализа	76
4.5.1. Формулирование проблемы	76
4.5.2. Определение целей	78
4.6. Генерирование альтернатив	79
4.7. Внедрение результатов анализа	80
5. РОЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ В СОЗДАНИИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ	82
5.1. Эксперимент и модель	82
5.2. Измерительные шкалы	83
5.2.1. Дихотомическая шкала	83
5.2.2. Шкала наименований	84
5.2.3. Шкала порядков (ранговые шкалы)	85
5.2.4. Шкала интервалов	87
5.2.5. Шкала отношений	87
5.2.6. Абсолютная шкала	87
5.3. Типы квалиметрических шкал	88
5.3.1. Шкала наименований	88
5.3.2. Шкала порядка	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	93