



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ФГБОУ ВО ТЮМЕНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК

И. Н. Глухих

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Второе издание, переработанное и дополненное



Тюмень
Издательство
Тюменского государственного университета
2016

УДК 303.732(075.8)

ББК 3817я73

Г554

И. Н. Глухих. ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ [Электронный ресурс]: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2016. 148 с.

Изложено основное содержание учебного материала по дисциплине «Теория систем и системный анализ». Приводятся ключевые определения и положения общей теории систем и системного анализа. Рассмотрены методы и подходы системного анализа, применяемые в практических задачах, связанных с исследованием, проектированием, созданием и обеспечением функционирования информационных систем.

Предназначено для студентов всех форм обучения, в том числе заочной, с применением дистанционных технологий, по направлению «Прикладная информатика».

Рабочая программа дисциплины размещена на сайте ТюмГУ: <http://utmn.ru> и в разделе «Учебно-методическое обеспечение» web-кабинета информационной системы Института дистанционного образования: <https://iside.distance.ru>.

Рекомендовано к изданию кафедрами информационных систем Института математики и компьютерных наук ТюмГУ.

Рецензенты: **М. С. Цыганова**, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем Института математики и компьютерных наук ТюмГУ

С. В. Карякина, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры математики Тюменского государственного архитектурно-строительного университета

Ответственный

за выпуск: **А. В. Трофимова**, главный менеджер отдела учебно-методического обеспечения и контроля Института дистанционного образования ТюмГУ

ISBN 978-5-400-01165-8

© ФГБОУ ВО Тюменский государственный университет, 2016

© И. Н. Глухих, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Общая характеристика и классификация систем. Управление в системах	
§ 1. Определение и общая классификация систем.....	8
§ 2. Понятие управления. Системы управления.....	17
§ 3. Управление в организационно-экономических системах.....	23
§ 4. Адаптивные системы.....	28
Резюме	29
Вопросы для самопроверки	30
ГЛАВА 2. Системный анализ: сущность и содержание	
§ 1. Определение системного анализа	31
§ 2. Структура системного анализа.....	33
§ 3. Виды анализа и синтез при исследовании систем управления	35
§ 4. Основные структурно-логические элементы теории систем и системного анализа	39
Резюме	43
Вопросы для самопроверки	44
ГЛАВА 3. Формирование и анализ системы целей	
§ 1. Закономерности целеобразования	45
§ 2. Структуры целей	48
§ 3. Дерево целей. Матричная структура. Стратификация.....	50
Резюме	63
Вопросы для самопроверки	63
ГЛАВА 4. Моделирование и модели систем в системном анализе	
§ 1. Понятие модели и классификация моделей	64
§ 2. Математическое моделирование	69
§ 3. Функциональные и структурные математические модели.....	73
§ 4. Оптимизационные математические модели	75

§ 5. Имитационное моделирование	76
§ 6. Модель типа «черный ящик», модели состава и структуры	79
Резюме	81
Вопросы для самопроверки	82
ГЛАВА 5. Введение в методы обоснования и принятия решений	
§ 1. Постановка задачи принятия решения	83
§ 2. Задачи оптимизации со многими критериями.....	86
§ 3. Задача выбора	93
§ 4. Типы шкал для характеристики и оценки альтернатив	94
§ 5. Критерии и способы принятия решений при оценке полезности альтернатив.....	98
§ 6. Принятие решений в условиях риска и неопределенности.....	102
§ 7. Экспертиза как метод получения информации в задачах системного анализа.....	105
Резюме	115
Вопросы для самопроверки	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	117
ПРАКТИКУМ.....	119
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ	
Тесты для самоконтроля.....	124
Ключи к тестам для самоконтроля	132
Вопросы для подготовки к экзамену	136
ГЛОССАРИЙ.....	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	145

ПРЕДИСЛОВИЕ

Федеральный государственный образовательный стандарт определяет ряд квалификационных требований к выпускнику бакалавриата по направлению «Прикладная информатика». Бакалавр данного направления является тем специалистом, который обладает уникальной базовой подготовкой, позволяющей ему решать широкий спектр профессиональных задач в своей области.

В отличие от инженера-программиста информатик работает на более высоком уровне в системе управления предприятием (организацией, фирмой). Он занимается не просто программированием, но, в большей степени, решением организационных, проектных и управленческих задач, которые связаны с созданием, внедрением, эксплуатацией и совершенствованием предметно-ориентированных информационных систем.

Конечно, подобные задачи имеют свою специфику в различных профессиональных областях. Однако при выполнении их, независимо от вида самой задачи или предметной области, специалисты различного профиля (и информатики в т. ч.) неизменно оперируют такими базовыми терминами, как «система», «анализ», «модель», «критерий», «альтернатива», «принятие решения» и др. Эти термины являются ключевыми в научных дисциплинах «Теория систем» и «Системный анализ». Определения приведенных названий и терминов можно посмотреть в глоссарии, который приводится в конце пособия; здесь же дадим краткую характеристику этим дисциплинам.

Подобно философии, которую называют наукой об общих методах научного познания мира, теория систем выступает в качестве общей методической, понятийной и методологической базы изучения разнообразных объектов окружающего нас мира, рассматривая их как системы. Само понятие «система», обладая вполне определенными характеристиками, позволяет применить единообразные взгляды на объекты разной природы и на задачи, связанные с их изучением. В свою очередь, системный анализ является прикладной дисциплиной, содержание которой составляют общесистемные методы решения научно-исследовательских и производственных проблем.

Объединение этих методов в самостоятельное прикладное направление произошло по двум основным причинам: во-первых, в современной

жизни все большее распространение получают сложные и большие системы (экономические, человеко-машинные, технические, информационные и т. д.), создание и обеспечение функционирования которых требует аргументированного решения разнообразных проблем; во-вторых, сами эти проблемы и возможные методы их решения обладают многими общими чертами. Это позволяет создать и использовать единую общесистемную базу методов и приемов их решения (вместо того чтобы каждый раз «придумывать велосипед», появляется возможность использовать единый арсенал методов анализа и принятия решений, пригодный для всех систем или, по крайней мере, систем одного класса с данной).

Целью изучения учебного курса «Теория систем и системный анализ» (ТСИСА) является формирование у студентов системного мышления, теоретической и практической базы системного исследования при анализе проблем и принятии решений в области профессиональной деятельности.

Главные задачи курса: формирование знаний об основных понятиях теории систем, системного анализа и инструментах решения задач системного анализа; формирование знаний и умений, необходимых для анализа систем и происходящих в них процессов, постановки задач принятия решений, комплексной оценки и выбора альтернатив.

Учебный курс ТСИСА тесно взаимосвязан с такими дисциплинами учебного плана, как «Информационные системы», «Проектирование информационных систем», «Интеллектуальные информационные системы», «Информационный менеджмент» и др. Все они совместно со специальными курсами предметной области позволяют сформировать комплекс знаний и умений, необходимый информатику для решения его профессиональных задач.

Пособие состоит из пяти глав. В первой главе определяются основные понятия системного подхода и их взаимосвязи, дается представление о системах и процессах управления, в т. ч. о процессах управления в иерархических организационно-экономических системах.

Во второй главе содержится конструктивное определение системного анализа как комплекса методов, предназначенных для решения проблем в создании и совершенствовании сложных систем. Определена структура системного анализа, приводятся характеристика и содержание основных видов анализа и синтеза в системах управления. Рассмотрены сущность и содержание видов анализа и синтеза при исследовании процессов управления (структурный, функциональный, параметрический, информационный анализ и синтез).

В этой же главе дано определение структурно-логических элементов теории систем и системного анализа, с помощью которых могут быть определены основные проблемы и пути их решения при исследовании и оптимизации систем.

В третьей главе рассмотрены вопросы формирования системы целей в процессах системного анализа. Описываются основные виды структур для представления целей — сетевая, иерархическая, матричная. Подробно раскрыто содержание метода дерева целей для формирования и анализа комплекса целей системного исследования. Поясняется понятие стратификации как способа анализа системы в многоаспектных системах.

В четвертой главе приводятся общие сведения о моделях и моделировании, классификация методов моделирования, рассматриваются особенности математических и имитационных моделей, а также специальные виды моделей системного анализа.

Пятая глава посвящена вопросам анализа и принятия решений. В ней даны общая постановка и классификация задач принятия решений. Рассмотрены задачи многокритериальной оптимизации и способы сведения этих задач к оптимизации с одним критерием. Здесь же подробно рассмотрена задача выбора, приведены основные критерии выбора альтернатив при оценке полезности альтернатив по нескольким показателям, рассмотрены вопросы организации и проведения экспертиз для получения информации, оценки и сравнения альтернатив, примеры задач экспертного оценивания.

Каждая глава пособия включает основное содержание, резюме, вопросы для самопроверки. В пособие также включены контрольные вопросы по данной дисциплине. Контрольные вопросы построены так, что ответы на них могут быть найдены в содержательной части пособия. В конце пособия приведен глоссарий.

Использованные при написании литературные источники приведены в списке литературы в конце пособия. Кроме того, обучающийся при изучении дисциплины может использовать иные, не вошедшие в список, литературные источники (учебную и научную литературу), посвященные вопросам теории систем, системного анализа, принятия решений, анализа и автоматизации бизнес-процессов.

Глава 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ. УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ

§ 1. Определение и общая классификация систем

Понятие системы относится к числу основополагающих и используется в различных научных дисциплинах и сферах человеческой деятельности. Известные словосочетания «информационная система», «человеко-машинная система», «экономическая система», «биологическая система» и многие другие иллюстрируют распространенность этого термина в разных предметных областях. В литературе существует множество определений того, что есть система. Несмотря на различия формулировок (см. напр., [1–6]), все они в той или иной мере опираются на исходный перевод греческого слова *systema* — целое, составленное из частей, соединенное. Будем использовать следующее достаточно общее определение.

Система — совокупность объектов, объединенных связями так, что они существуют (функционируют) как единое целое, приобретающее новые свойства, которые отсутствуют у этих объектов в отдельности.

Замечание о новых свойствах системы в данном определении является весьма важной особенностью системы, отличающей ее от простого набора несвязанных элементов. Наличие у системы новых свойств, которые не являются суммой свойств ее элементов, называют **эмерджентностью** (например, работоспособность системы «коллектив» не сводится к сумме работоспособности ее элементов — членов этого коллектива).

Объекты в системах могут быть как материальными, так и абстрактными. В первом случае говорят о **материальных (эмпирических)** системах; во втором — о системах **абстрактных**. К числу абстрактных систем можно отнести теории, формальные языки, математические модели, алгоритмы и др.

Абстрактные системы в практике инженерно-технической и исследовательской деятельности имеют не меньшее значение, чем системы

материальные. Можно привести примеры абстрактных систем, которые разрабатываются и используются в системном анализе:

- система целей (см. подробнее гл. 3);
- система ограничений;
- система показателей (критериев) для принятия решений (см. гл. 3, 4) и др.

Для выделения систем в окружающем мире можно использовать следующие **принципы системности** [5, 6, 13].

Принцип внешней целостности — отграниченность системы от окружающей среды. Система взаимодействует с окружающей средой как единое целое, ее поведение определяется состоянием среды и состоянием всей системы, а не какой-то отдельной ее частью.

Под **окружающей (внешней) средой** здесь понимается множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием в условиях рассматриваемой задачи.

Обособление системы в окружающей среде имеет свою цель, т. е. система характеризуется назначением. Другими характеристиками системы в окружающем мире являются ее вход, выход и внутреннее состояние (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Обобщенное представление системы

К примеру, входом материальной системы «автозавод» могут быть ресурсы, используемые в производстве; выходом — выпускаемая продукция, автомобили. В более общем случае входом материальной системы являет-

ся воздействие на систему извне, выходом — воздействие системы вовне, а назначением будет тот набор функций, которые она должна выполнять.

Входом абстрактной системы, например, некоторой математической теории, является постановка задачи; выходом — результат решения этой задачи, а назначением будет класс задач, решаемых в рамках данной теории.

Состояние системы есть некоторый набор характеристик, свойств системы. В теории систем и системном анализе состояние системы определяют через некоторые ее макросвойства или же результаты ее функционирования (объем выпускаемой продукции, рентабельность, виды и эффективность бизнес-процессов и т. п.). Если система способна переходить из одного состояния в другое, то говорят, что она обладает поведением. Состояние, которое система при отсутствии внешних воздействий (или при слабых воздействиях) сохраняет сколь угодно долго, называется состоянием равновесия.

Принцип внутренней целостности — устойчивость связей между частями системы. Состояние самой системы зависит не только от состояния ее частей — элементов, но и от состояния связей между ними. Именно поэтому свойства системы не сводятся к простой сумме свойств ее элементов, в системе появляются те свойства, которые отсутствуют у элементов в отдельности.

Наличие устойчивых связей между элементами системы определяет ее функциональные возможности. Нарушение этих связей может привести к тому, что система не сможет выполнять назначенные ей функции. Для примера можно вспомнить знакомую систему «оператор — компьютер». Именно наличие необходимых связей между ее элементами (оператор, монитор, блок центрального процессора, устройства ввода информации, принтер и т. п.) позволяют этой системе решать задачи, связанные с набором и выводом на печать текстовых документов. Нарушение или неправильность этих связей — например, подключение клавиатуры к входному разъему звуковой платы (хотя практически это сделать весьма непросто) — приведут к тому, что при всем таланте оператора набрать и распечатать выданный ему текст он не сможет.

Принцип иерархичности — деление системы на подсистемы и определение для каждой из них своего входа, выхода, назначения. В свою очередь, сама система может рассматриваться как часть более крупной системы.

Дальнейшее разбиение подсистем на части приведет к тому уровню, на котором эти подсистемы называются элементами исходной системы.

Теоретически систему можно разбивать на мелкие части, по-видимому, бесконечно. Однако практически это приведет к тому, что появятся элементы, связь которых с исходной системой, с ее функциями будет трудно уловима. Поэтому элементами системы считают такие ее более мелкие части, которые обладают некоторыми качествами, присущими самой системе.

Далее под **элементом системы** будем понимать такую ее подсистему, которая в данном исследовании (при принятой точке зрения) на части не разбивается.

Важным при исследовании, проектировании и разработке систем является понятие ее структуры. **Структура системы** — совокупность ее элементов и устойчивые связи между ними. Для отображения структуры системы наиболее часто используются графические нотации (языки), структурные схемы (см. гл. 4). При этом, как правило, представление структуры системы выполняется на нескольких уровнях детализации: сначала описываются связи системы с внешней средой, потом рисуется схема с выделением наиболее крупных подсистем, далее для подсистем строятся свои схемы и т. д.

Подобная детализация представляет собой результат последовательного структурного анализа системы. Метод **структурного системного анализа** является подмножеством методов системного анализа вообще и применяется, в частности, в инженерии программирования, при разработке и внедрении сложных информационных систем. Основная идея структурного системного анализа — поэтапная детализация исследуемой (моделируемой) системы или процесса, которая начинается с общего обзора объекта исследования, а затем предполагает его последовательное уточнение. В **системном подходе** к решению исследовательских, проектных, производственных и других теоретических и практических задач **этап анализа** вместе с **этапом синтеза** образуют методологическую концепцию решения. В исследовании (проектировании, разработке) систем на этапе анализа производится разбиение исходной (разрабатываемой) системы на части для ее упрощения и последовательного решения задачи. На этапе синтеза полученные результаты, отдельные подсистемы соединяются воедино путем установления связей между входами и выходами подсистем (см. подробнее гл. 2).

Важно отметить, что разбиение системы на части дает разные результаты в зависимости от того, кто и с какой целью выполняет это разбиение. Здесь мы говорим только о таких разбиениях, синтез после которых позво-

ляет получить исходную или задуманную систему. К таким не относится, например, «анализ» системы «компьютер» с помощью молотка и зубила. Так, для специалиста, внедряющего на предприятии автоматизированную информационную систему, важными будут информационные связи между подразделениями предприятия; для специалиста отдела поставок — связи, отображающие движение материальных ресурсов на предприятии. В итоге можно получить различные варианты структурных схем системы, которые будут содержать различные связи между ее элементами, отражающие ту или иную точку зрения и цель исследования.

Представление системы, при котором главным является отображение и исследование ее связей с внешней средой, с внешними системами, называется представлением на **макроуровне** (рис. 1.2). Представление внутренней структуры системы есть представление на **микроуровне**. Пример структурной схемы, представляющей систему «предприятие» на микроуровне, приведен на рис. 1.3 (разными линиями показаны виды связей между элементами). К числу основных связей между элементами системы «предприятие» можно отнести информационные и управленческие (командные); материальные (ресурсообеспечивающие) связи; связи по линии основного преобразования заказа в продукцию или услугу.

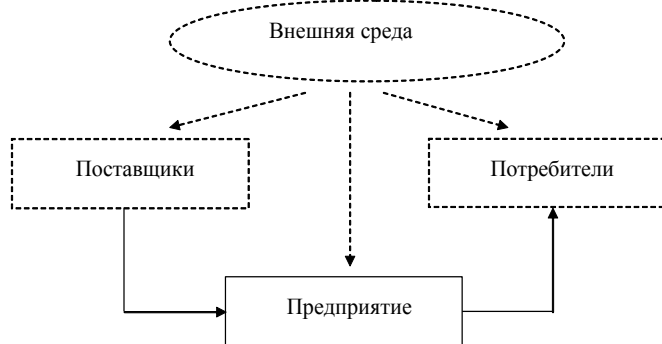


Рис. 1.2. Обобщенное представление системы «предприятие» на макроуровне

Классификация систем предполагает разделение всего множества систем на различные группы — классы, обладающие общими признаками. В основу классификации систем могут быть положены различные признаки.

В самом общем случае можно выделить два больших класса систем: **абстрактные** (символические) и **материальные** (эмпирические).

По происхождению системы делят на **естественные** (созданные природой), **искусственные**, а также системы **смешанного происхождения**, в которых присутствуют как природные элементы, так и элементы, сделанные человеком. Искусственные или смешанные системы создаются человеком для достижения своих целей и потребностей.

Дадим краткие характеристики некоторых общих видов систем, имеющих большое значение в профессиональной деятельности специалистов в области прикладной информатики.

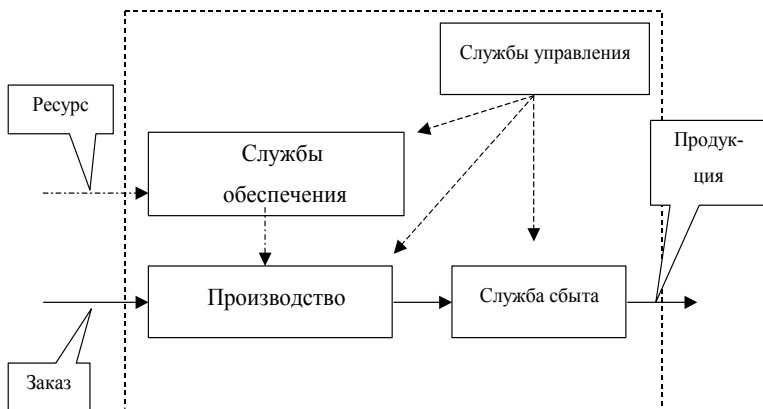


Рис. 1.3. Пример представления системы «предприятие» на микроуровне

Техническая система представляет собой взаимосвязанный, взаимообусловленный комплекс материальных элементов, обеспечивающих решение некоторой задачи. К таким системам можно отнести автомобиль, здание, ЭВМ, систему радиосвязи и т. п. Человек не является элементом такой системы, а сама техническая система относится к классу искусственных.

Технологическая система — система правил, норм, определяющих последовательность операций в процессе производства.

Организационная система в общем виде представляет собой множество людей (коллективов), взаимосвязанных определенными отношениями в процессе некоторой деятельности, созданных и управляемых людьми. Известные сочетания «организационно-техническая система»,

«организационно-технологическая система» расширяют понимание организационной системы средствами и методами профессиональной деятельности членов организаций. Другое название — **организационно-экономическая система** — применяют для обозначения систем (организаций, предприятий), участвующих в экономических процессах создания, распределения, обмена материальных благ.

Экономическая система — система производительных сил и производственных отношений, складывающихся в процессе производства, потребления, распределения материальных благ. Более общая **социально-экономическая система** отражает дополнительно социальные связи и элементы, включая отношения между людьми и коллективами, условия трудовой деятельности, отдыха и т. п. Организационно-экономические системы функционируют в области производства товаров и (или) услуг, т. е. в составе некоторой экономической системы.

Эти системы представляют наибольший интерес как объекты внедрения **экономических информационных систем (ЭИС)** — компьютеризированных систем сбора, хранения, обработки и распространения экономической информации. Частным толкованием ЭИС являются системы, предназначенные для автоматизации задач управления предприятиями (организациями). Если такие системы объединяют различные контуры управления, сотрудников предприятия и охватывают все основные аспекты деятельности предприятия, они называются **корпоративными ЭИС** (или проще: корпоративными информационными системами — КИС).

Очевидно, что корпоративная ЭИС является системой, объединяющей различные по природе элементы, в т. ч. элементы программно-аппаратного, информационного, документационного, организационного и других видов обеспечения, а также людей — руководителей и менеджеров, пользователей ЭИС, обслуживающего персонала (см., напр., [21]).

Различная природа элементов наряду со сложностью задач и объемом функционала делают корпоративную ЭИС сложной организационно-технической системой. При этом, рассматривая людей как элементы ЭИС, необходимо учесть их активность, т. е. способность предпринимать собственные действия (в т. ч. ошибочные или вредные), формулировать и реализовывать собственные цели, которые, вообще говоря, могут не отвечать назначению ЭИС.

Подобные системы называются **системами с активными элементами** [38].

По степени сложности различают простые, сложные и очень сложные (большие) системы.

Простые системы характеризуются малым числом внутренних связей и относительной легкостью математического описания. Характерным для них является наличие только двух возможных состояний работоспособности: при выходе из строя элементов система или полностью теряет работоспособность (возможность выполнять свое назначение), или продолжает выполнять заданные функции в полном объеме.

Сложные системы имеют разветвленную структуру, большое разнообразие элементов и связей и множество состояний работоспособности (больше двух). Эти системы поддаются математическому описанию, как правило, с помощью сложных математических зависимостей (детерминированных или вероятностных). К числу сложных систем относятся практически все современные технические системы (телевизор, станок, космический корабль и т. д.).

Современные организационно-экономические системы (крупные предприятия, холдинги, производственные, транспортные, энергетические компании) относятся к числу **очень сложных (больших) систем**. Для таких систем характерны следующие признаки:

- сложность назначения и многообразие выполняемых функций;
- большие размеры системы по числу элементов, их взаимосвязей, входов и выходов;
- сложная иерархическая структура системы, позволяющая выделить в ней несколько уровней с достаточно самостоятельными элементами на каждом из уровней, с собственными целями элементов и особенностями функционирования;
- наличие общей цели системы и, как следствие, централизованного управления, подчиненности между элементами разных уровней при их относительной автономности;
- наличие в системе активно действующих элементов — людей и их коллективов с собственными целями (которые, вообще говоря, могут не совпадать с целями самой системы) и поведением;
- многообразии видов взаимосвязей между элементами системы (материальные, информационные, энергетические связи) и системы с внешней средой.

В силу сложности назначения и процессов функционирования построение универсальных адекватных математических моделей, которые показывали бы зависимости выхода системы от входных и внутренних

параметров, для больших систем является невыполнимым. При моделировании таких систем используют комплексы моделей — моделей структуры и состава, компьютерных имитационных, математических оптимизационных и др. (см. гл. 4), которые могут применяться на разных этапах исследования, в разных подсистемах и скорее для поиска рациональных решений, нежели для строгого обоснования решений оптимальных (различие между «рациональным» и «оптимальным» — см. гл. 2).

По степени взаимодействия с внешней средой различают открытые и замкнутые системы.

Замкнутой (закрытой) называют систему, любой элемент которой имеет связи только с элементами самой системы, т. е. замкнутая система не взаимодействует с внешней средой.

Открытые системы взаимодействуют с внешней средой, обмениваясь веществом, энергией, информацией. Все реальные системы тесно или слабо связаны с внешней средой и являются открытыми.

Наверное, любая система так или иначе взаимодействует с внешней средой. Поэтому на практике замкнутой системой считается та, которая не взаимодействует с внешней средой в рамках рассматриваемой задачи. Например, при исследовании проблемной ситуации считается, что вход-выход системы отсутствуют или не меняют своего состояния.

В этом случае к замкнутым системам можно отнести технические, нефункционирующие системы. Напротив, организационно-экономические системы могут рассматриваться только как открытые, т. к. их функционирование невозможно без внешней среды (потребителей, поставщиков, источников ресурсов и т. п.).

По характеру поведения системы делят на детерминированные и недетерминированные. К **детерминированным** относятся те системы, в которых составные части взаимодействуют между собой точно определенным образом. Поведение и состояние такой системы может быть однозначно предсказано. В случае **недетерминированных систем** такого однозначного предсказания сделать нельзя. Если поведение системы подчиняется вероятностным законам, то она называется вероятностной. Прогнозирование поведения такой системы выполняется с помощью вероятностных математических моделей. Можно сказать, что вероятностные модели являются определенной идеализацией, позволяющей описывать поведение недетерминированных систем. Практически отнесение системы к детерминированным или недетерминированным часто зависит от задач исследования и подробности рассмотрения системы.

§ 2. Понятие управления. Системы управления

Под **управлением** понимается воздействие на какую-то систему с целью достижения желаемых изменений в ее состоянии или поведении.

Всякое управление предполагает наличие цели, т. е. модели желаемых изменений. Система, на которую оказываются целенаправленные воздействия, называется управляемой или — **объектом управления**. Носителем цели управления является **субъект управления**. Обобщенная схема системы управления показана на рис. 1.4.

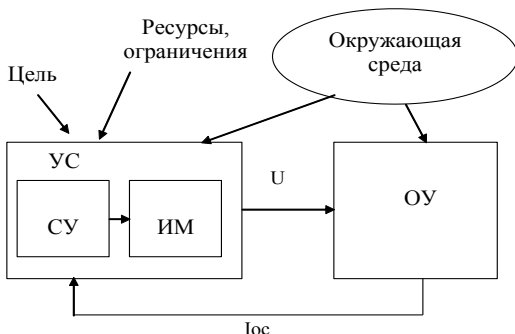


Рис. 1.4. Обобщенная структура системы управления (с обратной связью)

Такую систему еще называют системой с управлением. В ней выделяется две подсистемы: та, которая управляет — управляющая система, и та, которой управляют — управляемая система. Для обозначения управляемой системы чаще используется термин «объект управления».

На рис. 1.4 используются следующие обозначения: УС — управляющая система; СУ — субъект управления (говорят также: «управляющий орган»); ИМ — исполнительный механизм (исполняющий орган); ОУ — объект управления (управляемая система); U — прямая управляющая связь для передачи управляющих воздействий (УВ); I_{oc} — обратная информационная связь.

Показанная система является системой замкнутого управления (управления с обратной связью). Здесь УС вырабатывает свои **управляющие воздействия** УВ с учетом информации от самого объекта I_{oc} и информации о той среде, в которой он находится. В общем виде I_{oc} включает сведения о состоянии ОУ и о том, как он реагирует на управляющие воздействия.

Субъект управления принимает решения о выборе того или иного управляющего воздействия на основе комплекса сведений: об окружающей среде, об имеющихся ресурсах, о существующих ограничениях (нормативных, технологических, законодательных, морально-этических и т. д.), информации I_{oc} , цели управления и, возможно, своих собственных предпочтений.

В общих чертах **процесс управления** с обратной связью можно представить следующими основными этапами:

- сбор и анализ информации, необходимой для управления;
- выбор УВ (принятие решения о целесообразном управляющем воздействии);
- реализация решения — выработка и применение к ОУ управляющих воздействий;
- контроль за состоянием и реакцией ОУ (по существу, этот этап есть циклический переход к первому этапу сбора и анализа информации).

В технических устройствах возможна схема управления без обратной связи (разомкнутое управление). В этом случае управление реализуется по заранее заданному алгоритму без анализа состояния ОУ, т. е. считается, что ОУ реагирует на управляющие воздействия однозначным образом — так, как задумано в программе управления. Примеры систем с разомкнутым управлением:

- устройства запуска или остановки (например, запуск телевизора по таймеру);
- станки с программным управлением обработкой деталей;
- автоматические конвейеры и т. п.

Отметим, что показанные на рис. 1.4 элементы «цель» и «ресурсы» имеют принципиальное значение для управления. Наличие цели является необходимым по определению. Остается уточнить, что в системе управления цель может быть сформулирована по-разному:

- достичь определенного состояния на объекте управления, т. е. перевести объект управления в целевое состояние;
- поддержать объект управления в заданном состоянии. В соответствии с такой целью, например, работают различные технические регуляторы (автоматическая регулировка частоты или громкости в радиоприемниках, регулировка температуры в системах климат-контроля и др.);
- минимизировать затраты системы управления при достижении целевого или при поддержании заданного состояния.

Имеющиеся в распоряжении УС ресурсы определяют ее возможности при выборе стратегии управления. Кроме собственно ресурсов на выбор УВ влияют и иные ограничения, характерные для данной системы. Так, при управлении в организационно-экономической системе такие ограничения могут порождаться нормативно-технической документацией, законами, отраслевыми или корпоративными стандартами, нормами и правилами поведения и др.

Говоря об управлении, необходимо рассмотреть и такие категории, как управляемость и устойчивость системы.

Под **устойчивостью** системы понимается способность системы возвращаться в то состояние, из которого она была выведена путем внешних (или внутренних) воздействий. Для технических, социально-экономических и иных систем разработаны свои теории устойчивости. Чем сложнее система, тем сложнее добиться ее устойчивости и тем сложнее само понимание того, является ли система устойчивой.

При исследовании сложных систем, в частности систем организационно-технических, организационно-экономических, можно говорить об устойчивости к некоторым видам и интенсивностям воздействий. А сама устойчивость предполагает сохранение параметров процесса функционирования такой системы (в т. ч. процесса перехода из одного состояния в другое). Так, говоря о корпоративной ЭИС, можно выделить такие виды устойчивости:

- устойчивость к ошибочным действиям пользователя системы;
- устойчивость к вирусным атакам и несанкционированным вмешательствам;
- устойчивость к потерям энергообеспечения;
- устойчивость к ошибкам и неисправностям программно-аппаратного обеспечения.

Эти и другие виды устойчивости предполагают устойчивое выполнение функций ЭИС (сохранность баз данных, обработку и передачу информации, генерирование отчетов, связь между пользователями и т. п.) при внутренних и внешних возмущающих воздействиях. При этом, задавая или оценивая устойчивость, нужно говорить о воздействиях в течение того или иного времени, той или иной интенсивности.

Понятие **управляемости**, напротив, предполагает возможность изменения состояния системы в результате воздействий. Таким образом, устойчивость и управляемость есть понятия-антагонисты, достижение компромисса между которыми есть важнейшая задача управления в любых системах.

Рассматривая системы управления, полезно учитывать и такое понятие, как **достижимость** цели управления. Достижимость цели означает воз-

возможность достичь заданную цель управления при имеющемся состоянии системы управления (объекта управления), имеющихся ресурсах, воздействиях внешней среды. Очевидно, что оценка достижимости цели является еще одной важной задачей, решаемой в системе управления при выборе УВ. О формировании системы целей и способы их представления см. гл. 3.

На основании проведенного исследования обобщенной схемы системы управления можно сформулировать несколько условий, которые известны как аксиомы теории управления [4]. Выполнение этих условий предполагается обязательным при создании системы управления. Эти же условия полезно учитывать при разработке информационных систем автоматизации управления на предприятиях.

Аксиома 1. Наличие наблюдаемости объекта управления, т. е. возможность получения информации о состоянии объекта управления, его реакциях на внешнюю среду и УВ.

Аксиома 2. Наличие управляемости ОУ, т. е. способность ОУ переходить в требуемое состояние под воздействием УВ.

Аксиома 3. Наличие цели управления и достижимость цели, т. е. наличие цели управления, обозначенной через некоторый набор показателей, желаемых свойств ОУ.

Аксиома 4. Наличие выбора управляющих воздействий (аксиома свободы выбора). Необходимый объем множества УВ зависит от самой цели управления и сложности объекта.

Существует известный принцип необходимого разнообразия Эшби, который применительно к системам управления формулируется так [4]: «Разнообразие управляющей системы должно быть не меньше, чем разнообразие объекта управления».

Это означает, что в идеале на каждое возможное состояние объекта управления в системе должно быть предусмотрено как минимум одно воздействие, приводящее ОУ в желаемое состояние.

Аксиома 5. Наличие критерия эффективности управления, т. е. способ оценить степень достижения цели (подробнее о критериях см. в гл. 2).

Аксиома 6. Наличие ресурсов управления, т. е. возможность реализовать выбранные УВ при имеющихся ресурсах и заданных ограничениях.

Классификация систем управления. В зависимости от степени участия человека в процессе управления различают следующие виды систем управления:

1. **Системы ручного управления.** В этих системах человек выполняет все функции управления. При этом не исключается применение ме-

ханизмов для реализации управляющих воздействий, каких-либо инструментов для сбора информации (например, измерения параметров ОУ).

2. **Системы автоматического управления (САУ).** В этих системах управляющая часть — УС не содержит человека, выработка управляющих воздействий выполняется автоматически на основе запрограммированных алгоритмов поведения системы. Человек присутствует на этапе создания алгоритмов и программ, которые и отражают в себе цель управления.

Первыми автоматическими системами управления были автоматические регуляторы температуры паровых котлов на паровозах, которые отслеживали значение контролируемых параметров и вносили поправку при отклонении их от заданной величины. Характерными и достаточно сложными примерами современных САУ являются автоматические системы управления полетами, применяемые в гражданской или военной авиации. Однако, несмотря на сложность взаимосвязей с различными бортовыми и наземными системами, здесь в основном также используется принцип работы регулятора: задается и отслеживается выполнение программы полета воздушного судна. Перспективы развития САУ связаны с использованием методов искусственного интеллекта, позволяющих осуществлять автоматическое управление в сложных, изменяющихся условиях, при недостатке или неточности имеющейся информации, подстраиваясь под особенности окружающей среды и объекта управления.

3. **Автоматизированные системы управления (АСУ).** В АСУ человек остается главным действующим лицом процесса управления. Можно выделить два основных канала автоматизации, в которых ряд функций от человека передается ЭВМ:

- информационный канал (автоматизация сбора, представления, анализа информации);
- управляющий канал (автоматизация генерации, передачи и применения управляющих воздействий).

Широкое применение АСУ находят в управлении организационно-экономическими системами (предприятиями), где процессы управления отличаются значительной сложностью и связаны с большими объемами используемой информации. Такие АСУ сами отличаются сложностью структуры и наличием большого числа подсистем, выполняющих различные функции. К числу подсистем комплексной АСУ предприятием относятся системы поддержки принятия решений (СППР). Эти системы предназначены для автоматизации наименее формализуемого и наиболее интеллектуального этапа процесса управления, связанного с принятием

решений о необходимых воздействиях на ОУ. Функционирование СППР в зависимости от объема выполняемых функций опирается на методы аналитической и интеллектуальной обработки данных (факторный, корреляционный и другие виды анализа, технологии OLAP, DataMining), методы экспертных систем, ситуационного управления и др.

Изменение состояния ОУ при управлении может протекать с различными скоростями. Говорят еще о скорости переходных процессов или периоде (времени) переходных процессов T_{ss} . Сам переход из текущего состояния S_t в целевое S_c в различных объектах управления может происходить по-разному. В сложных объектах переходный процесс может сопровождаться различными трудностями, неожиданными затратами или потерями.

В зависимости от скорости переходных процессов в ОУ различают следующие системы:

- системы типа «конечный автомат». В них период смены состояния T_{ss} много меньше, чем период наблюдения T :

$$T_{ss} \ll T,$$

- системы динамические, где $T_{ss} \ll T$, т. е. время изменения состояния соизмеримо с временем наблюдения;
- системы статические, где $T_{ss} \gg T$, т. е. изменение состояния происходит за время, значительно превышающее период наблюдения.

Для наблюдателя в технических системах, когда объект изменяет свое состояние в реальном времени, именно динамические системы ассоциируются с понятием управления.

Однако из приведенной классификации видно, что отнесение ОУ к тому или иному классу будет зависеть от периода наблюдения.

Это положение имеет принципиальное значение при управлении сложными и, особенно, большими организационно-техническими системами. Оно означает, что оценка управляемости, устойчивости системы, а также оценка эффективности управляющих воздействий может быть произведена только за период наблюдения, адекватный периоду переходных процессов в системе. Такая адекватность может быть достигнута регулярным учетом, накоплением информации в базах данных ЭИС и ее последующим анализом.

В контексте создания и эксплуатации экономических информационных систем наибольший интерес представляют системы управления предприятиями.

Рассмотрим некоторые характерные черты процессов управления предприятиями.

§ 3. Управление в организационно-экономических системах

Для обозначения систем, в которых происходит управление коллективами людей, применяется термин «организационные системы управления». Управление предприятием является частным случаем организационного управления. В **организационных системах управления** можно выделить две сферы [6] (рис. 1.5):

- сфера основной деятельности предприятия (производство продукции, услуг);
- сфера организационного управления — обеспечение (материальными ресурсами, кадрами, финансами) и регулирование основной деятельности предприятия (оценка плановых и фактических объемов выпуска продукции, устранение расхождений между планами и фактом и т. п.).

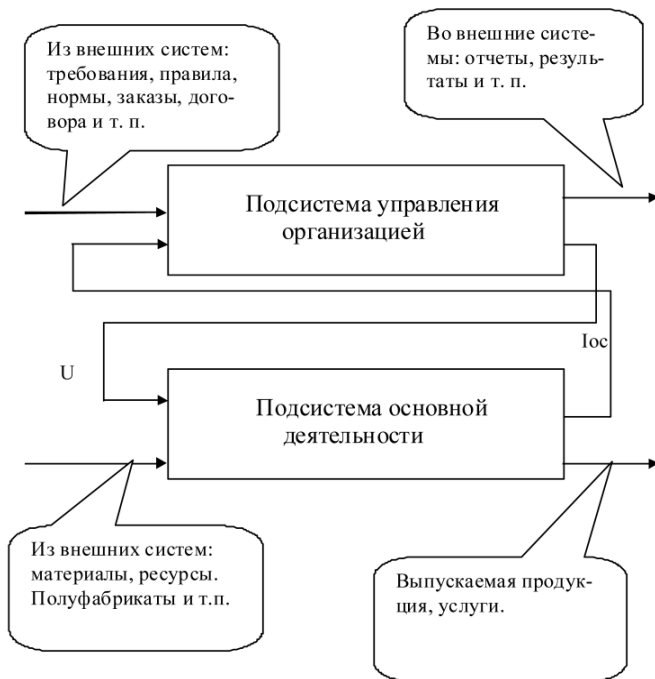


Рис. 1.5. Организационная система управления

Системы организационного управления характеризуются следующими особенностями:

- возможностью самостоятельного формирования целей (т. е. цели формируются внутри системы) и способностью к самоорганизации;
- наличием активных элементов в составе обеих подсистем — людей с собственными целями, задачами, собственными приоритетами, способами действий, разной компетенцией и разными уровнями активности;
- субъективным характером процессов управления, связанными с этим ошибками при формировании и выборе целей, а также при выборе управляющих воздействий;
- высокой неопределенностью информации, циркулирующей внутри системы;
- необходимостью учета множественных внешних факторов, в т. ч. экономических, политических, социальных и иных.

К этим особенностям следует добавить такие черты управления современным предприятием, как:

- многоуровневость управления и порождаемую этим опосредованность, когда реализация управления осуществляется через посредников, расположенных на более низких уровнях иерархии предприятия;
- многообразие и сложность процессов управления, разных по своему составу, задачам, потребным ресурсам, длительности и т. п.

Рассмотрим систему управления предприятием как иерархическую систему, в которой выделяются различные уровни управления [6] (рис. 1.6), соответствующие организационной структуре самого предприятия.

По функциональному признаку выделяют следующие **уровни управления**:

- первый (низший) уровень управления. Здесь осуществляется сбор, обработка, передача на верхний уровень информации, а также управление непосредственными исполнителями производственных задач, оборудованием с учетом команд верхнего уровня;
- уровни оперативного управления: учет и анализ информации (об имеющихся ресурсах, выполнении производственных заданий), координация работы низших уровней, оперативная корректировка режимов работы и контроль качества, передача информации на верхний уровень;

- уровень планирования (стратегический уровень): управление и контроль работы уровня оперативного управления, формирование планов (принятие решений по планированию и реорганизации), общий контроль работы предприятия.

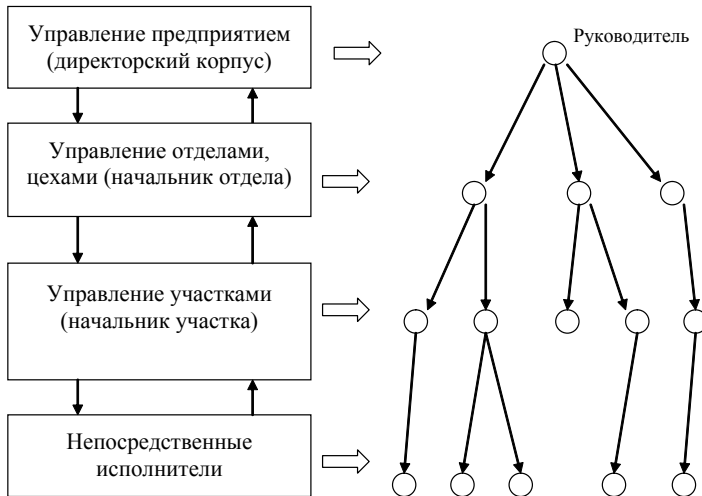


Рис. 1.6. Иерархическая система управления предприятием

На каждом уровне выделяются собственные субъекты и объекты управления. Для каждого уровня и для управления предприятием в целом характерно наличие следующих основных этапов — **фаз управления** [34] (в зависимости от уровня объемы задач в этих фазах и способы их решения будут, очевидно, различны) (рис. 1.7):

- планирование — разработка долгосрочных и краткосрочных планов работы предприятия, составление календарных планов выполнения мероприятия, планов финансирования, планов производства, закупок, продаж, планов действий и т. п.;
- учет — сбор данных о деятельности предприятия и, возможно, внешних элементах и элементах среды;
- анализ — обработка результатов учета, т. е. учитываемых данных;
- регулирование — выработка и реализация решений по регулированию работы предприятия для достижения плановых показателей.

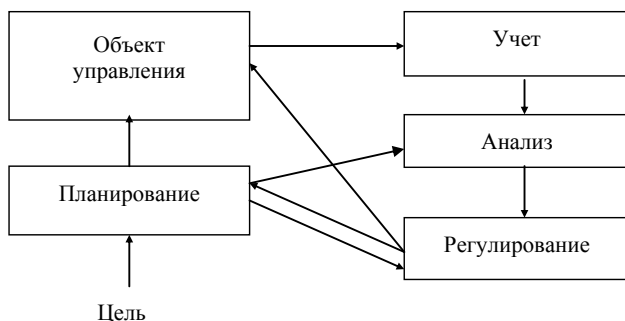


Рис.1.7. Фазы управления предприятием

Решения принимаются на основе различных видов анализа, сравнения фактических значений показателей с плановыми, анализа взаимного влияния показателей, сравнения с другими предприятиями, с работой предприятия в иной период и т. п. В результате анализа принимаются решения о регулировании деятельности подразделений предприятия и (или) регулировании принятых ранее планов.

Подобные решения в общем случае называют управленческими. Среди них можно выделить группы решений, относящиеся к разным уровням иерархии предприятия:

- **организационные решения**, связанные с изменением организационной структуры предприятия (например, реорганизацией отделов или служб предприятия). Такие решения принимаются относительно редко и в течение достаточно большого периода времени. Для их обоснования и принятия возможно использовать весь арсенал научных методов моделирования и количественного обоснования решений (частично об этих методах говорится в гл. 3, 4, для получения более полной информации см. литературу к этим главам). Важно то, что эффективность принятых организационных решений во многом обуславливает эффективность последующих решений;
- **решения по планированию**, которые связаны с принятием, корректировкой, регулированием планов хозяйственной деятельности предприятия (долгосрочных планов и стратегий развития предприятия, календарных планов, планов производства и т. п.).

Принятие решений по планированию во многом связано рамками действующей структуры предприятия, в то же время сами планы на разных уровнях определяют задачи для дальнейших оперативных решений;

- **оперативные управленческие решения** связаны с выработкой вариантов реализации тех или иных планов в рамках действующей структуры предприятия, с оперативным регулированием деятельности подразделений, с учетом влияния внешних и внутренних факторов.

Более подробно о задачах принятия решений в системном анализе см. гл. 5.

Уровни управления представляют предприятие в вертикальном разрезе. При исследовании, проектировании и создании корпоративной информационной системы целесообразна еще одна точка зрения, так называемый горизонтальный разрез системы управления предприятием.

В горизонтальном разрезе в общем процессе управления можно выделить такие **типовые составляющие объекта управления** и, значит, процесса управления на предприятии:

- управление производством;
- управление сбытом;
- управление поставками;
- управление формированием спроса (управление состоянием внешней среды — влияние на покупателя, влияние на законодателя и т. п.);
- управление обеспечивающими подсистемами.

Комплексное использование различных видов информации, автоматизация на этой основе всех фаз и составляющих процесса управления предприятием осуществляется на базе **корпоративных информационных систем**. В гл. 1 было дано определение корпоративной ЭИС, т. е. КИС. Учитывая рассмотренный материал по управлению предприятием, выведем еще одно, более четкое определение.

Под КИС понимается экономическая информационная система, предназначенная для комплексной автоматизации предприятия, обеспечивающая совместную деятельность многих работников предприятия, сбор, учет, анализ и использование данных о финансово-хозяйственной деятельности предприятия в процессах управления.

§ 4. Адаптивные системы

С такими терминами, как «управление» и «система управления», тесно связывается понятие **адаптивных систем**. Термин «адаптация» в общем случае подразумевает приспособление системы к внешним условиям. Адаптация систем управления основывается на приобретении в процессе управления новых знаний о среде, объекте управления, которые позволяют вырабатывать эффективные управляющие воздействия.

Для эффективного управления адаптация необходима, когда:

- изначально имеется недостаток знаний о среде и объекте управления, что не позволяет сразу построить адекватную модель объекта и соответствующие управляющие воздействия;
- условия функционирования и (или) сам объект управления являются динамическими, т. е. меняются во времени так, что принятые изначально правила управления становятся непригодными.

В литературе по сложным системам управления выделяются следующие уровни адаптации [7, 30, 31]:

- **параметрическая адаптация** — изменение параметров системы, например, параметров модели, описывающей объект управления;
- **структурная адаптация** — изменение состава и взаимосвязей элементов системы, например, выбор для модели объекта управления нового вида математических выражений;
- **адаптация объекта управления** — пересмотр границ объекта управления в окружающей среде;
- **адаптация цели** — изменение системы целей управления.

Любое управление такими сложными системами, как организационно-экономические, должно быть адаптивным.

Перечисленные выше виды адаптации можно проиллюстрировать с помощью следующего примера. Пусть имеется некоторое предприятие. Параметрическая адаптация может выражаться в изменении параметров управляющего персонала, например, путем повышения квалификации менеджеров (замены менеджера на более квалифицированного). Структурная адаптация — изменение управляющей структуры предприятия, например, создание нового отдела, занимающегося автоматизированным управлением. Можно предположить, что структурная адаптация будет сопровождаться более радикальными изменениями, требовать больших

затрат и обеспечивать большие возможности (поэтому структурная адаптация относится к более глубокому уровню адаптации). Если предыдущие адаптации не привели к желаемому результату, топ-менеджер компании может обратить внимание на объект управления. Возможно, раньше шла речь об управлении собственно производством. В результате пересмотра границ объекта управления в контур управления могли включиться службы складского учета, обеспечивающие производство полуфабрикатами и сырьем. Необходимость в изменении системы целей предприятия, возможно, возникнет, если предыдущие попытки не привели к ожидаемому результату, т. е. поставленная цель не была достигнута. Тогда вместо цели, например, уровень брака выпускаемой продукции не более 1%, будет принята другая, менее трудная цель — сохранить уровень брака в пределах 50 процентов.

Резюме

1. Понятие системы является основополагающим в современных научных исследованиях.

2. Важной чертой системы оказывается появление у нее свойств, которые отсутствуют у элементов, ее составляющих. Иначе говоря, свойства системы не сводятся к суммированию свойств ее элементов.

3. Для облегчения выделения систем в окружающем мире удобно пользоваться принципами системности: принцип внешней целостности, принцип внутренней целостности, принцип иерархичности.

4. Системный подход базируется на двух этапах системного исследования — анализе и синтезе. Первый предполагает упрощение исходной системы, разбиение ее на части с сохранением связей между ними. Изучение этих упрощенных частей — подсистем может производиться по отдельности, с использованием своих методов исследования, но при сохранении понимания о взаимовлияниях и общности этих частей. Разбиение на части на этапе анализа может выполняться по-разному разными исследователями и в зависимости от решаемой задачи. Этап синтеза предполагает соединение подсистем в единую систему (в т. ч. объединения знаний об отдельных подсистемах) путем установления взаимосвязей между ними и формирования цельной системы.

5. Управление является одним из основополагающих принципов функционирования и взаимодействия систем. Обобщенная система управ-

ления состоит из двух частей — управляемой системы (объекта управления) и управляющей системы.

6. Все достаточно сложные системы управления образованы по принципу замкнутого управления с обратной связью. В зависимости от степени активного участия человека системы управления разделяют на классы: системы ручного управления, системы автоматического управления, автоматизированные системы управления.

7. Управление на предприятиях относится к классу систем организационного управления. В системах организационного управления большую роль играют вопросы принятия решения при выработке управляющих воздействий. Другая важная особенность организационного управления состоит в его многоуровневости. Так, при управлении предприятием можно выделить несколько уровней принимаемых управленческих решений: оперативные управленческие решения; решения по планированию; стратегические организационные решения. Внедрение компьютерной техники позволяет добиться автоматизации управления в той или иной ее части, однако полное автоматическое управление предприятием вряд ли возможно.

8. Эффективное управление сложными объектами в трудных, динамичных условиях внешней среды возможно только с использованием адаптации. Различают разные уровни адаптации в системах управления: параметрическая адаптация (изменение параметров управления), структурная адаптация (изменение состава и (или) связей системы), адаптация объекта управления (пересмотр границ управляемого объекта), адаптация цели (изменение цели управления).

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение системы.
2. Что означают принципы внешней, внутренней целостности и иерархичности?
3. Что такое структура, состав, подсистема, элемент подсистемы?
4. Что такое «управление»?
5. Нарисуйте структурную схему обобщенной системы управления.
6. Перечислите особенности организационного управления. Дайте характеристику фазам организационного управления.
7. Что означает термин «адаптация»? Дайте характеристику уровням адаптации.

Глава 2

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ: СУЩНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ

§ 1. Определение системного анализа

Теория систем сформировалась как самостоятельное научное направление в середине XX в. в связи с развитием крупных технических, человеко-машинных, экономических и других систем. Именно в таких системах (их относят к классам сложных или больших) возникают достаточно общие и наукоемкие задачи, результаты решения которых оказывают влияние как на развитие отраслей народного хозяйства, так и на жизнедеятельность многих людей.

Как спроектировать, разработать и внедрить в производство сложный программный или технический комплекс? Какую выбрать стратегию и планы развития отрасли? Как и что нужно сделать, чтобы усовершенствовать деятельность фирмы? Как разработать и внедрить комплексную систему автоматизации предприятия?

Ответы на подобные вопросы, несмотря на их различия, базируются на общих методах и приемах исследования систем. Само понятие «система» (см. гл. 1) выходит за рамки какой-то одной предметной области и представляет собой нечто большее, чем некоторую организацию совместного существования объектов. Так же как в математике известный метод решения уравнения позволяет решать различные реальные задачи, представимые этим уравнением, так и методы системных исследований являются инструментом решения широкого круга проблем в различных областях знаний. Теория систем составляет теоретическую и методологическую основу для разработки и применения таких методов.

В это же время формируются методики и научные инструменты практического решения проблем, связанных с созданием и совершенствованием сложных систем. Сам термин «системный анализ» (СА) появляется в 1948 г. в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления [6]. Долгое время он трактовался неоднозначно в различных публикациях. Однозначного, общепринятого определения нет и сейчас. Достаточно общим является следующее определение [1, 2].

Системный анализ — практическая междисциплинарная совокупность методов и средств, предназначенных для решения проблем

при исследовании, проектировании, обеспечении функционирования, совершенствовании и управлении сложными (большими) системами.

Уточним это определение особенностями системного анализа [6]:

- системный анализ опирается на понятия и принципы теории систем и системного подхода, т. е. рассматривает объекты исследования как системы и в их системообразующих взаимосвязях;
- системный анализ применяется для решения практически важных, трудных задач, т. е. в тех случаях, когда задача (проблема) не может быть сразу представлена и решена с помощью известных формальных, математических методов;
- отсутствие очевидного решения порождает необходимость более глубокого исследования, подготовки и выбора альтернатив для разрешения проблемы. Таким образом, системный анализ связан с необходимостью принятия решений и использует различные методы принятия решений;
- в основе СА лежит идея, направленная на создание и применение формальных математических моделей, позволяющих найти и объективно обосновать оптимальность решений проблемы. Однако как практическая дисциплина СА выходит за рамки только количественных математических методов. Это обусловлено еще и тем, что оценка и выбор альтернатив в проблемах СА применяются в условиях значительной неопределенности и многокритериальности. Таким образом, СА привлекает качественные, «нематематические» методы решения проблем (эвристику, интуицию, опыт и творческое начало исследователя);
- в силу сложности рассматриваемых проблем в системном анализе большое внимание уделяется процессам целеобразования, в результате которых разрабатываются и применяются методы уточнения и структуризации целей исследуемой системы;
- основным методом системного анализа является расчленение исходной проблемы на более определенные и простые составляющие при сохранении целостного, системного представления об объекте исследования и проблемной ситуации;
- применение методов системного анализа базируется на последовательности задач, которые включают задачи собственно анализа (уточнение и оценку имеющейся системы, формулировку требований и свойств) и задачи синтеза (создание новой системы согласно сформулированным требованиям и свойствам).

Для лучшего понимания сказанного необходимо ввести определение используемого термина «проблема».

По существу проблема есть некоторое положение дел, при котором желаемое не соответствует действительному, причем нет очевидного способа действий, чтобы это несоответствие можно было устранить. Такое отсутствие способа действий и влечет за собой необходимость таких вещей, как более глубокое исследование и детализация проблемы, поиск или создание новых методов решения, генерация различных вариантов действий и выбор наилучшего.

Системный анализ имеет дело со сложными (большими) системами. Поэтому и термин «проблема» можно формулировать по отношению к таким системам. В соответствии с этим применяется следующее определение.

Проблема — разница между существующей и желаемой системой (ее состоянием, поведением, результатами функционирования и т. п.). Как и ранее, предполагается, что однозначный способ действий для разрешения проблемы неизвестен или даже не существует.

Существующим состоянием системы может быть и ее полное отсутствие, тогда речь идет о создании новой системы со своим назначением, целями и задачами.

§ 2. Структура системного анализа

Структура системного анализа показана на рис. 2.1 [6]. В процессе функционирования некоторой реальной системы выявляется проблема, требующая своего решения. Осознание проблемы становится первым шагом и толчком дальнейшего системного исследования.

Системное исследование приводит к синтезу системы, разрешающей имеющуюся проблему. Реализация синтезируемой системы в виде реальной физической системы позволяет провести оценку степени снятия проблемы и принять решение о функционировании новой (или модернизированной) системы. СА включает два основных этапа — этап собственно анализа и этап синтеза. **Целями анализа** являются детальное изучение системы, ее взаимосвязей, условий функционирования, обнаружение и оценка ее свойств и характеристик. **Целью синтеза** является формирование системы, отвечающей заданным свойствам и характеристикам.

Часто из этапа анализа выделяют еще один этап — декомпозицию. Это делается для того, чтобы обозначить задачи первоначального изуче-

ния, как проблемы, так и самой системы, за счет выделения более простых составляющих и взаимосвязей между ними (термин «декомпозиция» как раз подразумевает разделение сложного на более простые части).

Далее условимся считать, что **структура системного анализа** представлена совокупностью этапов: декомпозиции, анализа, синтеза, реализации.



Рис. 2.1. Структура системного анализа

Рассмотрим основное содержание приведенных этапов.

На этапе **декомпозиции** выполняются:

- определение сущности проблемы (отсутствие желаемого результата в работе имеющейся системы; затраты на функционирование системы; отсутствие в назначении системы желаемых целей и задач и т. п.);
- определение и структуризация (декомпозиция) целей системы;

- выделение границ системы в окружающей среде;
- выделение и описание внешних связей, внешних систем и факторов, влияющих на исследуемую систему;
- декомпозиция системы на основные составляющие — подсистемы собственным.

На этапе анализа выполняются такие задачи:

- анализ системы с различных точек зрения (структурный, функциональный, параметрический анализ и анализ эффективности, информационный анализ);
- анализ предыстории, причин развития проблемной ситуации, имеющих тенденций и построение прогнозов (генетический анализ);
- анализ аналогов;
- формирование требований к создаваемой системе, включая необходимые показатели, критерии принятия решений и ограничения.

На этапе синтеза:

- разработка модели требуемой системы, ее дальнейшее исследование в целях генерации вариантов системы;
- синтез альтернативных вариантов систем в различных ее аспектах (структурный и функциональный синтез, параметрический, информационный синтез);
- оценивание и выбор вариантов синтезируемой системы.

Рассмотрим более подробно содержание различных видов анализа и синтеза.

§ 3. Виды анализа и синтеза при исследовании систем управления

Согласно [25] при исследовании, создании, совершенствовании систем управления выделяют такие виды анализа и синтеза:

- структурный;
- функциональный;
- параметрический;
- информационный.

Эти виды анализа и синтеза представляют особый интерес для исследования и автоматизации деятельности предприятий при создании (совершенствовании) корпоративных ЭИС.

Структурный анализ подразумевает исследование и определение статических характеристик системы по известной ее структуре [25]. Объектом такого анализа являются различные варианты структур исследуемой системы, которые формируются в ходе ее декомпозиции.

Для оценки свойств структуры предлагается использовать такие показатели, как:

- множество элементов и отношений между ними;
- характеристики взаимосвязей между подсистемами и элементами;
- обобщенные показатели структур, характеризующие их влияние на эффективность функционирования системы.

Конкретные наборы показателей могут быть установлены в каждом конкретном случае и виде исследуемой системы. Так, для оценки свойств структур в системах управления в [25] приводится следующий набор обобщенных показателей:

- сложность объекта управления (число управляемых объектов);
- сложность контура управления (вид и число элементов на пути от субъекта управления к объекту и обратно);
- время и достоверность доведения информации до управляемых объектов;
- вероятность реализации полного цикла управления с использованием анализируемой структуры;
- надежность и живучесть системы — способность реализовать управление в различных условиях, при нештатных вмешательствах и нарушениях в работе;
- стоимость структуры.

Функциональный анализ проводится одновременно со структурным и состоит в определении динамических характеристик системы на основании известных алгоритмов ее функционирования [25]. Функциональный анализ направлен на детальное изучение процессов функционирования, т. е. выполнения функций системы. В ходе такого анализа:

- декомпозируются, уточняются и характеризуются бизнес-процессы предприятия (описание общего процесса, описание подпроцессов, отдельных функций и действий);
- определяются качественные и количественные характеристики исследуемых процессов;
- производится оценка процессов в контексте имеющейся проблемы и принимается решение об их изменении, совершенствовании или создании новых.

По итогам структурного и функционального анализа могут быть сформулированы выводы и предложения по реорганизации, изменению или созданию новых структур и процессов функционирования системы в контексте решаемой проблемы.

Параметрический анализ (анализ эффективности) включает выбор системы показателей, с помощью которой возможно обоснованное исследование эффективности системы, непосредственное оценивание показателей и выработка рекомендаций по совершенствованию знаний тех или иных показателей.

Таким образом, целью параметрического анализа является оценка эффективности системы (системы управления) на основе определения количественных значений ее показателей.

К числу обобщенных показателей в данном случае относят:

- результативность;
- ресурсоемкость;
- стоимость;
- оперативность и т. п.

Информационный анализ и синтез выделяются в отдельный комплекс работ в связи с ролью информационного обеспечения управления в организационно-экономических системах [25].

Задачи информационного анализа состоят в том, чтобы в имеющейся системе, применительно к известной структуре и алгоритмам функционирования, определить и исследовать:

- процессы формирования, передачи, обработки информации, включая декомпозицию сложных процессов и выделение приоритетных процессов;
- формы, объемы и средства передачи, обработки и хранения информации;
- существующие места ввода-вывода и каналы передачи информации;
- потребности в информации тех или иных функциональных процессов и подсистем.

В ходе информационного анализа оценивается ряд показателей, которые отображают эффективность функционирования системы. Среди таких показателей можно отметить:

- соответствие телекоммуникационной инфраструктуры тем объемам и скоростям передачи информации, которые требуются в данной структуре и при данных процессах функционирования;

- степень удовлетворения потребителей формами, сроками, объемами предоставляемой информации, а также сложностью ее получения и обработки;
- достаточность, достоверность, надежность информации для управления (принятия решений по выбору УВ);
- защищенность информации и др.

На основе данных информационного анализа вырабатываются рекомендации по разработке информационного обеспечения управления, структуре процессов информационного обмена, характеристикам телекоммуникационной инфраструктуры, программного обеспечения и др.

Задачи различных видов синтеза, образно говоря, обратны задачам анализа и состоят в получении результата по некоторым заданным свойствам. Уточнение этих заданных свойств и требований осуществляется как по итогам анализа, так и непосредственно в ходе синтеза.

Структурный синтез предполагает разработку (создание, совершенствование, реорганизацию, организацию) системы, структура которой должна удовлетворять заданным требованиям (показателям эффективности).

В ходе структурного синтеза разрабатываются различные варианты структур, включая состав элементов, связей между ними. Оценка эффективности этих вариантов может выполняться на базе тех же показателей, которые используются и при структурном анализе.

Функциональный синтез состоит в обосновании рационального состава и характеристик процессов функционирования системы.

Очевидно, что структурный и функциональный синтез системы выполняются с учетом тех выводов, которые были сделаны по итогам анализа. Полученные вновь варианты структур и процессов функционирования должны предполагать разрешение той проблемы, с осознания которой начались все исследования.

Сущностью **параметрического синтеза** считаются:

- а) обоснование необходимой и достаточной совокупности показателей, позволяющих оценивать желаемые свойства разрабатываемой системы;
- б) сравнение и выбор среди предложенных вариантов системы (структур, процессов функционирования) тех, которые отвечают требованиям решения проблемы.

Трудности такого синтеза связаны с тем, что необходимо:

- подобрать разные по сложности показатели, значения которых можно было бы адекватно оценить. Желательны количествен-

ные, но возможны и качественные показатели, значения которых устанавливаются на качественных шкалах (см. гл. 5);

- определить взаимосвязи (формулы) между показателями (см. гл. 4, 5);
- определить способы сведения (алгоритмы, формулы) частных показателей в сложные показатели, используемые на более высоком уровне системы;
- подобрать и применить для отбора вариантов системы критерии принятия решений.

Сущностью **информационного синтеза** является обоснование необходимого объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, хранения, ввода и вывода для разрабатываемой структуры и процессов функционирования системы.

Информационный синтез дополняет задачи функционального синтеза и осуществляется с целью определения требуемых качественных и количественных характеристик информации, используемой в процессе функционирования системы.

Кроме того, в ходе информационного синтеза учитываются сделанные ранее выводы об информационном обеспечении системы и синтезируются новые варианты такого обеспечения, в т. ч. возможно новые компоненты процессов функционирования системы.

§ 4. Основные структурно-логические элементы теории систем и системного анализа

Процесс решения проблемы в системном анализе представим следующими основными **структурно-логическими элементами** [1, 2, 13].

Цель или ряд целей, достижение которых будет означать, что проблема решена.

Средства, с помощью которых может быть достигнута цель.

Модель или модели, в которых с помощью некоторого языка (в т. ч. математики, формальной логики, обычного словесного, графического или машинного описания и т. п.) отображается связь между целями, средствами и результатами.

Критерий или критерии, с помощью которых сопоставляются в каждом конкретном случае цели, затраты, результаты и отыскивается предпочтительное решение.

Принятие решения, реализация которого обеспечивает при заданных ограничениях достижение цели с наименьшими затратами средств.

Степень структуризации проблемы в общей теории систем определяется тем, насколько хорошо выделены и осознаны указанные пять структурно-логических элементов. Именно от этого зависит возможность применения того или иного метода решения задач.

Рассмотрим кратко сущность и содержание каждого элемента. В последующих главах эти элементы будут исследованы более подробно.

Постановка цели является важнейшим этапом проведения любого исследования. Анализ проблем производства, совершенствование технологий бизнес-процессов, внедрение автоматизированной системы управления предприятием — все это начинается с четкого понимания цели работ.

Несмотря на весьма разные определения, которые существуют в современной литературе, в теории систем и системном анализе логично применить следующие определения [13].

Цель — желаемое состояние системы или результаты ее деятельности.

Независимо от специфики системы ее цели всегда относятся к двум категориям — стабилизации и развитию.

Цели стабилизации направлены на сохранение достигнутого уровня развития и функционирования. Цели развития направлены на создание дополнительных ресурсов, которыми данная система не обладает, или на достижение новых ее состояний, к которым она стремится.

Процессу формирования (разработки) целей обычно предшествует составление сценария [13].

Сценарий — это качественное описание развития системы и ее состояния в будущем для определенных, наиболее вероятных условий внешней среды. В сценарии шаг за шагом изложен наиболее вероятный ход событий. Это динамическая модель системы, составленная на основе прогнозов. Она дает возможность четко сформулировать цели деятельности, пути их достижения.

Средства достижения цели — это объективные предметы или действия, включенные в структуру целеполагающей деятельности и обеспечивающие получение отдельного результата.

Диалектика взаимоотношения цели и средства в том, что цель не только определяет тот или иной предмет как соответствующее ей средство, но и сама выступает как нечто содержательное, конкретное лишь в связи с отношением к средству. **Взаимодействия целей и средств** носят характер двусторонней детерминации. С одной стороны, в зависимости

от поставленной цели осуществляется выбор средств для ее достижения. С другой стороны, та совокупность средств, которой общество располагает на данной стадии своего развития, в общем виде предполагает и спектр целей, достижение которых возможно и реально. Человечество ставит себе всегда только такие задачи, которые оно может разрешить.

Неправильный выбор средств предполагает невозможность достижения цели. Ценность средства зависит не от его собственной природы, а от его причинной связи с целью.

Эта взаимообусловленность целей и средств должна учитываться и в профессиональной деятельности. Так, постановка руководителем цели своему коллективу должна сопровождаться предоставлением и соответствующих средств для ее достижения (или возможностей для их изыскания). Обратно, информация о доступных средствах позволяет сформулировать достижимую и значимую цель. Это означает еще и то, что руководитель (субъект управления) должен иметь представление о возможностях современных технологий, материалов и методов, с помощью которых возможно достижение тех или иных профессиональных целей.

Модель (см. гл. 4) создается для изучения существенных свойств реальных систем (процессов) или управления ими. Модель огрубляет изображаемое и, как правило, отображает наиболее существенные стороны изучаемого объекта. При этом нужно следить, чтобы упрощения не препятствовали раскрытию сущности системы, не «обрубали» важных ее частей. Особенно широко применяется моделирование при анализе проблем и принятии решений в технике, экономике, экологии и других предметных областях. Это обусловлено в первую очередь тем, что проведение экспериментов на реальных объектах чрезвычайно затруднено, а в ряде случаев из-за нежелательных последствий и потери времени практически невозможно. Моделирование как метод научного исследования выступает в качестве важного этапа решения практических проблем, который позволяет получить дополнительные сведения об интересующих системах, проверить предлагаемые варианты решений или отыскать новые варианты решений.

Критерий (см. также гл. 5) — это признак, условие, по которому выделяется наиболее предпочтительный вариант из различных вариантов решения, способов достижения поставленной цели — альтернатив.

Критерий, как правило, выражается математически, что позволяет использовать количественные оценки сравниваемых вариантов и количественно обосновывать лучшие решения. Это значит, что вместо субъектив-

ного и достаточно размытого выражения типа «этот вариант лучше двух других», можно заявить, что, например, «вариант X лучше варианта Y на 20%, а варианта Z на 25%», и дать такому заявлению аргументированное обоснование в виде математической формулы.

Критерий должен отвечать следующим основным требованиям [13]:

- быть представительным, т. е. учитывать все главные стороны деятельности системы;
- быть чувствительным к изменению исследуемых параметров (показателей), т. е. при их сравнительно малых изменениях меняться в ощутимых пределах;
- быть по возможности простым, если только простота не наносит ущерб точности;
- быть эффективным в статистическом смысле, т. е. обладать сравнительно небольшой дисперсией и, следовательно, определяться с достаточной достоверностью и точностью;
- быть мерой эффективности системы (надежности, производительности и экономичности).

Желательно иметь единый критерий эффективности. Однако это не всегда удается, и часто возникает необходимость рассматривать ряд критериев вместо одного. В многоуровневых системах критерии эффективности низшего уровня, как правило, логически увязываются с критериями высшего уровня. В наиболее простом случае критерий эффективности верхнего уровня есть совокупность критериев эффективности элементов, расположенных на более низком уровне.

Наряду с критерием часто используется еще один термин — «**показатель**». Показателем называют некоторую характеристику того или иного интересующего нас свойства объекта (процесса). Считается, что показатель есть характеристика, количественное выражение которой может передать, насколько достигнута та или иная цель, насколько ярко выражено то или иное свойство.

Часто термин «критерий» используется также для обозначения показателя, по значению которого сравниваются альтернативы. Например, сопоставляя различные варианты производственных планов, можно использовать критерий (показатель) ожидаемых трудозатрат. И выбирать тот лучший вариант, у которого показатель трудозатрат будет минимальным (т. е. по критерию минимизации трудозатрат).

Решением (см. также гл. 5) в теории систем называется выбор одной или нескольких альтернатив из множества возможных вариантов. Этот

выбор осуществляется по некоторым критериям, которые позволяют оценивать альтернативы с точки зрения одной или нескольких целей. Критериям решения соответствуют определенные количественные или порядковые шкалы оценок (см. гл. 5). Для принятия решений необходимы:

- четко сформулированная цель;
- список альтернативных возможностей (стратегий);
- знание ограничений и факторов, которые могут повлиять на последствия реализации выбранного варианта решения.

Решение, принимаемое по единственному критерию, называется простым. Критерий простого решения может быть представлен системой, состоящей из целевой функции и комплекса ограничений. Он может быть выражен также определенным профилем предпочтения, позволяющим упорядочить альтернативу в смысле «лучше — хуже».

Наиболее важный тип решения — оптимальное решение, т. е. наилучшее по заданному критерию. Решение, которое удовлетворяет ограничениям, но необязательно является наилучшим, называется допустимым решением. Решение, которое является допустимым, лучшим, чем другие (по заданному критерию), но необязательно оптимальным, называется рациональным, т. е. разумным решением.

Решение, принимаемое по нескольким (не сводимым к одному) критериям, называется сложным (многокритериальным).

Резюме

1. Термином «системный анализ» объединяют научно-практические методы и средства, которые используют для решения проблем при исследовании, проектировании, обеспечении функционирования, совершенствовании и управлении сложными (большими) системами. Направленность на решение практически важных и трудных проблем — одна из основных черт системного анализа.

2. В силу сложности рассматриваемых систем и решаемых проблем системный анализ невозможен без применения принципов системного подхода. Центральное место в системном анализе занимают вопросы формирования и структуризации целей исследования. Именно это позволяет уточнить первоначальную проблему, увидеть ее более простые и понятные составляющие, определить цели исследования и средства их достижения.

3. Системный анализ как процесс представляют двумя основными этапами — этап собственно анализа и этап синтеза. Часто в этапе анализа выделяют первый шаг, который называют этапом декомпозиции. В процессе декомпозиции и далее собственно анализа формируется детальное представление о той проблеме, которая породила потребность всего исследования, и о той системе, в которой эта проблема существует. После такого анализа могут быть сформулированы требования к новым вариантам системы, выполнение которых должно снять существующую проблему. На этапе синтеза путем более глубоких исследований (чаще всего, с использованием методов моделирования) разрабатываются варианты системы, удовлетворяющей этим требованиям. С помощью методов комплексной оценки систем, методов принятия решений формируются объективные оценки качества предлагаемых вариантов и осуществляется выбор варианта, наиболее полно удовлетворяющего заданным критериям.

4. Выполнение задач системного анализа базируется на использовании ряда понятий, которые называются структурно-логическими элементами системного анализа. В их число входят: цель, средство, модель, критерий, принятие решения.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение и перечислите ключевые особенности системного анализа.
2. Назовите основные этапы системного анализа. Какие задачи решают эти этапы?
3. Назовите назначение структурного анализа и синтеза.
4. Назовите назначение функционального анализа и синтеза.
5. Назовите назначение информационного, параметрического анализа и синтеза.
6. Дайте характеристику основным структурно-логическим элементам теории систем.

Глава 3

ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЦЕЛЕЙ

§ 1. Закономерности целеобразования

Всякий трудовой процесс с участием человека предполагает наличие цели. Достижение определенной цели является содержанием и мерой эффективной деятельности людей вообще и управления в частности.

Цель управления — относящееся к будущему желаемое состояние объекта управления и (или) результатов его деятельности.

В сложных проблемах сама формулировка и уточнение цели является задачей нетривиальной. Можно сформулировать цель в общем, например, «управлять предприятием». Но подобная обобщенная формулировка не покажет, а чем же конкретно, с помощью чего и каким образом управлять. Грамотная постановка и представление цели позволяют не только получить достаточно четкое понимание процесса решения проблемы, но и увидеть этапы и средства достижения цели.

Для определения цели и формирования более четкого ее представления в виде структурированной системы целей полезно руководствоваться разработанными в системном анализе принципами (закономерностями) целеобразования. Ниже описываются эти закономерности по материалам [1, 2, 6].

1. Зависимость представления о цели и формулировки цели от познания объекта (процесса) и от времени.

Формулировка цели и представление о ней зависят от стадии познания объекта, по мере развития представления о нем цель может переформулироваться.

При формулировании и пересмотре цели коллектив, выполняющий эту работу, должен определить, в каком смысле на данном этапе рассмотрения объекта и развития наших представлений о нем употребляется понятие цели, к какой точке условной шкалы «идеальные устремления в будущее — реальный конечный результат деятельности» ближе принимаемая формулировка цели.

2. Зависимость цели от внешних и внутренних факторов.

При анализе причин возникновения и формулировании цели нужно учитывать, что на нее влияют как внешние по отношению к системе фак-

торы (внешние требования, потребности, мотивы, программы), так и внутренние факторы (потребности, мотивы, программы самой системы и ее 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 (или, напротив, коалиций) как между внешними и внутренними факторами, так и между внутренними факторами, существующими и вновь возникающими.

Эта закономерность характеризует очень важное отличие открытых систем, организационно-экономических систем с активными элементами от технических систем, отображаемых обычно замкнутыми (закрытыми) моделями. Теория управления замкнутыми моделями оперирует обычно понятием цели как внешним по отношению к системе, а в открытых, развивающихся системах цели не задаются извне, а формируются внутри системы на основе рассматриваемой закономерности.

3. Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации.

Задача структуризации в данном случае — это задача представления общей цели в виде структуры более простых и понятных целей (см. дерево целей).

Анализ процессов формулирования обобщенной (глобальной) цели в сложных системах показывает, что эта цель первоначально возникает в сознании руководителя или иного лица, принимающего решение (ЛПР), не как единичное понятие, а как некоторая достаточно «размытая» область.

Достичь одинакового понимания этой области цели всеми ЛПР, видимо, принципиально невозможно без ее детализации в виде набора одновременно возникающих взаимосвязанных подцелей, которые делают ее более конкретной и понятной для всех участников процесса целеобразования.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что задача формулирования обобщающей цели в сложных (больших) системах не только может, но и **должна сводиться к задаче структуризации, декомпозиции цели**. Коллективно формируемая структура цели помогает достичь одинакового понимания общей цели всеми ЛПР и исполнителями.

4. Закономерности формирования структур целей.

Следующие три закономерности развивают рассмотренные закономерности применительно к структурам целей.

А. Зависимость способа представления целей от стадии познания объекта.

Цели могут представляться в виде различных структур. Наиболее распространены:

- *сетевая структура* (декомпозиция во времени);
- *древовидная иерархическая структура* (декомпозиция в пространстве — *дерево целей*).

Дерево целей на уровнях более детального представления целей и планов их реализации дополняется или заменяется *матричными структурами* (формами). В случаях многоаспектного целеобразования (т. е. декомпозиции глобальной цели с различных точек зрения) применяется представление в виде *страт* (уровней).

На начальных этапах моделирования системы, как правило, удобнее применять декомпозицию в пространстве (дерево целей).

Представление развернутой последовательности подцелей (функций) в виде сетевой модели требует хорошего знания объекта, 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 постепенно.

Такое представление может быть использовано и как средство управления, когда руководитель хорошо представляет себе конечную цель и ее декомпозицию во времени, но не уверен, что эту цель сразу поймут исполнители; тогда он может выдвигать перед ними подцели постепенно, по мере достижения предыдущих, корректируя их с учетом мнений и возможностей исполнителей.

Перспективно сочетание дерева цели с сетевыми структурами. В этом случае построение дерева цели может делаться для уточнения глобальной цели и определения средств ее достижения. Построение дополнительной сетевой структуры позволит отобразить последовательности их достижения во времени, показать и спланировать мероприятия для достижения целей.

Б. Проявление в структуре целей закономерности целостности.

Эта закономерность означает, что структуру целей следует рассматривать именно как систему, не вырывая ее отдельные элементы из этой

системы. Именно целостность такой системы, состав ее элементов (под-целей) и взаимосвязей между ними обеспечивает понимание процессов достижения цели, потребных средств, ресурсов, мероприятий.

В. Закономерности формирования иерархических структур целей.

В реальных задачах эти закономерности выливаются в практические принципы и рекомендации при построении тех или иных структур целей. Они будут рассмотрены далее (см. дерево целей).

§ 2. Структуры целей

При уточнении цели системы (цели решения проблемы), как уже было сказано, необходимо перейти от недостаточно определенной, размытой формулировки цели к более точным и понятным представлениям. Такая детализация (декомпозиция) цели позволяет:

- понять самому исследователю и довести до других свою точку зрения;
- подобрать показатели, позволяющие оценить достижение этих более простых и четких целей;
- определить средства и пути достижения цели;
- спланировать затраты и мероприятия для достижения цели.

Наиболее распространен при структуризации цели метод дерева целей. Ему будет посвящен отдельный подраздел настоящего пособия (см. п. 3.3).

Кроме дерева целей часто встречается структуризация в виде сети, где осуществляется декомпозиция цели во времени. На рис. 3.1а показан простейший пример **сетевой структуры**, где S_0 — начальное состояние системы, а S_c — целевое желаемое состояние системы. Задача формулируется как переход $S_0 \rightarrow S_c$. Для уточнения возможна дальнейшая декомпозиция путем перевода (рис. 3.1б)

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_c.$$

Такая линейная композиция является, по-видимому, простейшим случаем структуризации главной цели. В более сложных и совершенных сетях возможны различные варианты развития этого представления. Например, изображенную на рис. 3.1 сеть можно трактовать следующим образом. Промежуточные состояния есть состояния, в каких может оказаться система в силу влияния разных факторов, дуги между элемента-

ми показывают возможности перехода между состояниями. Этим дугам может быть сопоставлен вес — вероятность такого перехода или некие более сложные правила и условия. Возможно появление в системе целей и такой, которая возникает на последнем шаге управления системой и является нежелательной — S_n .

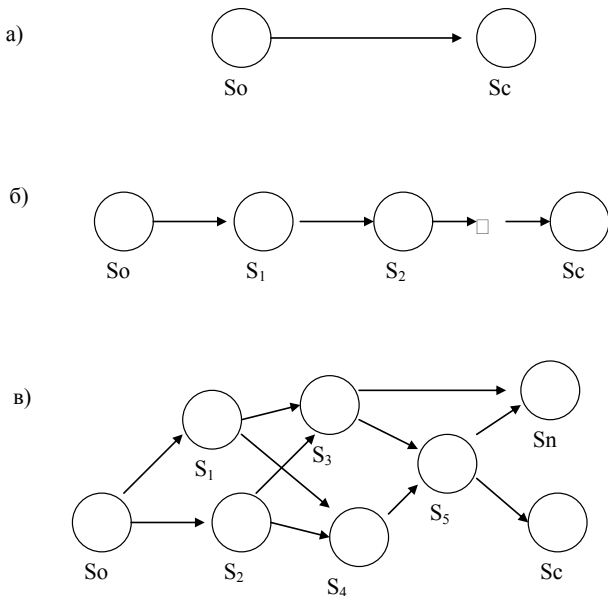


Рис. 3.1. Сетевая структура системы целей

В управлении дискретными системами (т. е. теми, которые могут принимать дискретные состояния) построение подобной системы целей служит для нахождения оптимальной стратегии управления, т. е. оптимального пути перехода из S_0 в S_c через различные промежуточные состояния. Для поиска пути перехода $S_0 \rightarrow S_c$ применим метод динамического программирования [26]. Идея применения метода здесь состоит в следующем.

Предполагается, что в системе могут быть применены определенные управляющие воздействия U , т. е. имеются определенные ресурсы управления — перевода системы из одного состояния к другому.

На первом этапе предполагается, из какого состояния система может попасть в S_c за счет применения доступного $u \in U$ (пусть на рис. 3.1 это состо-

яние — S_5). Далее таким же образом находятся те состояния, из которых система могла попасть в данное, т. е. S_5 . На рисунке это S_3, S_4 . Так делается до нахождения S_0 . Одновременно оцениваются затраты на каждый переход.

На втором этапе с учетом известных затрат определяется оптимальная последовательность переходов на построенной сети. Таким образом, в ходе выполнения всех этих манипуляций, во-первых, строится возможная сеть состояний; во-вторых, находится оптимальный путь достижения целевого состояния.

Очевидно, что идея подобного движения от желаемого состояния к исходному может быть продуктивна при разработке сетевой структуры цели в системном анализе.

Другая разновидность сетевых моделей — модель «**сетевой график**» (см., напр., [41]). В сетевом графике вершины — события, а дуги — работы, приводящие к тем или иным событиям. При подобной интерпретации событие S_4 на рис. 3.1в может означать переход в новое состояние и начало выполнения следующих работ, но только после выполнения работ ($S_1; S_4$) и ($S_3; S_4$).

Дугам и, возможно, вершинам в сетевом графике присваивается вес, который обозначает длительность работ (для вершин — длительность нахождения в состоянии перед началом следующих работ). Таким образом, формируется сетевая структура, на основе которой можно планировать выполнение сложных мероприятий с учетом наименьших временных затрат.

Существуют и иные, достаточно разнообразные сетевые модели. Теоретические основы для решения сетевых задач разрабатываются в теории графов, теории сетевого планирования, сетевого моделирования и т. п. (см., напр., [9]). Широкие возможности сетей для моделирования возможных состояний системы и условий их изменения применяются для создания сложных имитационных моделей, в т. ч. в системах искусственного интеллекта.

§ 3. Дерево целей. Матричная структура. Стратификация

Естественным и наиболее продуктивным путем определения целей являются последовательная детализация и уточнение исходной общей формулировки. Широкое распространение получил метод, названный «**дерево целей**». Опишем основные идеи и компоненты этого метода (на основе [1, 6, 13, 37]).

Дерево целей (рис. 3.2) представляет собой графическое изображение связи между целями системы и средствами их достижения, в качестве которых выступают подцели (на нижнем уровне — задачи). На рис. 3.2 Z^0 — цель верхнего, нулевого уровня, которая называется также генеральной целью. Видно, что эта цель на следующем уровне представляется парой подцелей (в других случаях подцелей может быть и больше), которые есть цели 1-го уровня — Z^1_1 и Z^1_2 . Таким образом, дерево целей состоит из целей нескольких уровней, представленных в виде иерархий: генеральная цель — цели 1-го уровня — цели 2-го уровня и т. д.

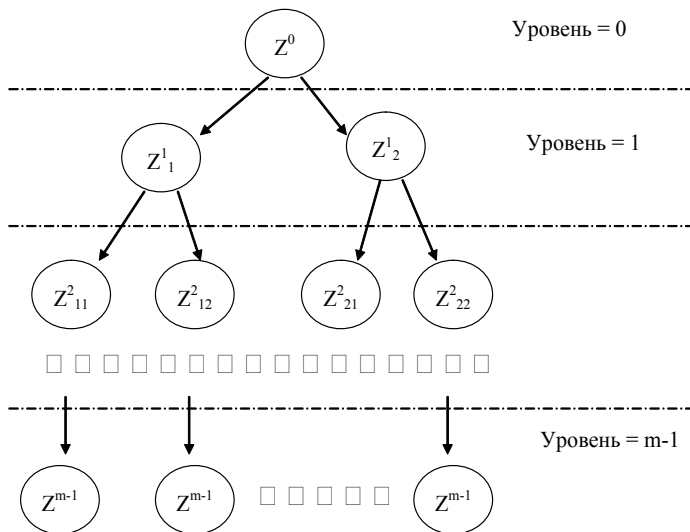


Рис. 3.2. Построение дерева целей

Для достижения генеральной цели необходимо реализовать несколько целей 1-го уровня (главных целей), выступающих как средство по отношению к генеральной цели. Для достижения целей 1-го уровня требуется выполнение целей 2-го уровня, и т. д.

Подцели последующего (нижнего) уровня, для реализации которых не требуется дополнительных увязок «цель — средства», называются **задачами**. Задача служит базой для построения программ достижения отдельных целей. Решение задачи представляет собой комплекс мероприятий, т. е. ресурсов и действий, с помощью которых обеспечи-

вается достижение нужной цели. Этот комплекс может быть поставлен в соответствие терминальной вершине дерева целей, которая обозначает задачу.

При построении дерева целей особое внимание следует уделять выбору генеральной цели. Иногда построение начинается сразу с нескольких главных целей, совокупность которых и представляет собой генеральную цель. В этом случае генеральная цель формулируется как некоторая искусственная, обобщенная формулировка известных главных целей.

При дальнейшем построении дерева целей цель верхнего уровня разбивается на ограниченное число подцелей (обычно 5–7). Это ограничение неслучайно и обусловлено свойством оперативной памяти человека, способной раздельно оперировать именно таким количеством самостоятельных объектов. Опыт показывает, что эксперту очень трудно дать сравнительную оценку более 5–7 разнородных элементов, решающих одну общую задачу.

Разбиение цели верхнего уровня на подцели называется **декомпозицией** цели. Общее разделение множества целей по уровням (стратам) называется **стратификацией**, а группирование подцелей по некоторым признакам — их **классификацией**.

Другой важной операцией является **ранжирование** целей. При ранжировании целей каждая из них оценивается с точки зрения вклада в достижение цели верхнего уровня. В результате каждой подцели присваивается вес, который называется **коэффициентом относительной важности** (КОВ).

Значение КОВ можно проиллюстрировать на небольшом фрагменте дерева целей, где главной значится цель «повысить рентабельность реализованной продукции» (рис. 3.3). Исходя из известного соотношения:

$$P = П / С,$$

где P — рентабельность реализованной продукции,
 $П$ — балансовая прибыль от реализации продукции,
 $С$ — себестоимость реализованной продукции, — указанную выше цель можно разбить на две составляющие: «повысить прибыль от реализации продукции», «уменьшить себестоимость продукции».

Обозначим КОВ первой цели как α_1 ; второй — как α_2 . Предположим, что, сравнивая важность подцелей, эксперт установил такие значения КОВ: $\alpha_1 = 0,7$; $\alpha_2 = 0,3$.

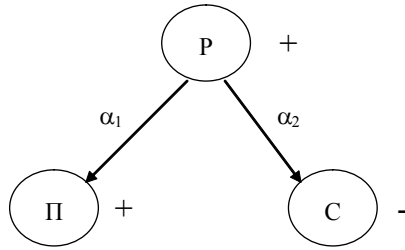


Рис. 3.3. Дерево цели «Повысить рентабельность продукции»

Эти значения можно интерпретировать так: повышение рентабельности реализованной продукции может быть достигнуто в результате повышения прибыли от реализации продукции и снижения себестоимости продукции. При этом из 100% суммарной важности подцелей 70% отводится цели «повышение прибыли» и 30% — цели «снижение себестоимости». На рис. 3.3 знак «+» при вершине П означает, что для увеличения рентабельности необходимо увеличение прибыли, а знак «-» при С означает, что для увеличения рентабельности необходимо уменьшать себестоимость.

В общем случае КОВ, как правило, выбираются такими, чтобы в сумме все значения КОВ подцелей, связанных с данной целью, равнялись единице:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1,$$

где n — число подцелей ($n = 5 - 7$), связанных с данной целью дугами в дереве целей.

Отметим, что рассмотренный пример является одной из конкретных реализаций дерева целей, которая связывает собой определенные экономические показатели. Такие деревья целей, как на рис. 3.3, еще называют деревьями показателей. Подробнее с ними можно ознакомиться в [19].

В общем случае построению дерева целей предшествует построение графа целей и задач, тождественного графу операций, обеспечивающих достижение генеральной цели функционирования и развития системы [32]. Формально дерево отличается от графа отсутствием замкнутых циклов. Циклы появляются тогда, когда один элемент может выступать в качестве подцели не одной, а нескольких целей.

На рис. 3.4 изображен m -уровневый граф целей и задач. Цели любого нижнего уровня могут рассматриваться как задачи, решение которых приводит к достижению целей верхнего уровня. Так, например, цель Z^2_1 является задачей по отношению к целям Z^1_1 и Z^1_2 .

Граф целей и задач (рис. 3.4) представляет собой «дерево» с корнем Z^0 только на подмножестве вершин 1-го уровня. Ниже связи между целями соседних уровней могут быть перекрестными, что указывает на взаимосвязь задач $(i + 1)$ -го уровня, для достижения целей i -го уровня.

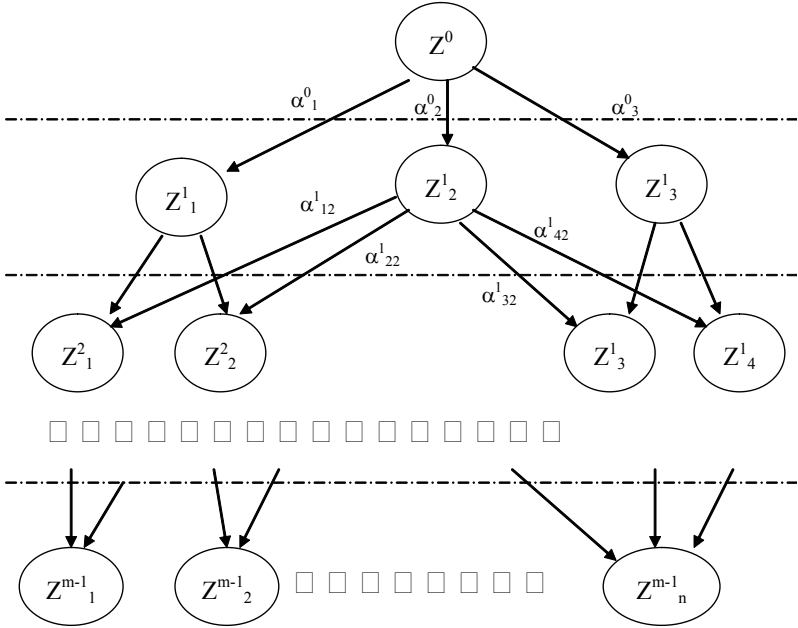


Рис. 3.4. Граф системы целей и задач — прообраз дерева целей, показанного на рис. 3.2

Как и ранее, дугам можно поставить в соответствие веса (КОВ), которые характеризуют отношение значимости (вклада, важности) решения v -й задачи $(i + 1)$ -го уровня, для достижения j -й цели i -го уровня. На рисунке эти веса обозначены в общем случае с помощью символов вида α^i_{vj} , где i — индекс уровня; v — индекс цели, к которой идет дуга; j — индекс цели, из которой выходит дуга (на рис. 3.4 в целях экономии места веса

проставлены только для части дуг графа). Сумма весов всех дуг, исходящих из любой вершины Z_j^i , устанавливается, как и ранее, равной единице.

Чтобы превратить граф целей и задач в дерево целей, необходимо произвести соответствующую перегруппировку с учетом весов дуг. Пример такой перегруппировки иллюстрируется сравнением рис. 3.4 и рис. 3.2. Имеющиеся в графе связи показывают, что цель Z^1_2 достигается при решении задач, которые необходимы для достижения целей Z^1_1 и Z^1_3 . Предположим, что весовой коэффициент α^0_2 цели Z^1_2 несущественен. Тогда можно принять решение об исключении Z^1_2 из систем целей. При этом граф целей (рис. 3.4) превращается в дерево (рис. 3.2).

Говоря о разработке дерева целей, необходимо различать два подхода, связанных с неодинаковым пониманием содержания и структуры самого дерева [13].

Первый подход. В узком смысле выражение «построение дерева целей, как ведущая целевая разработка системы (операции)» подразумевает последовательную детализацию целей, осуществляемую по линии: главная цель — подцели 1-го уровня — подцели 2-го уровня и т. д. В основу такой детализации положен функционально-содержательный принцип: каждый целевой элемент разбивается на целевые элементы той же природы, только более дробные.

Второй подход. Взамен построения «чистой» иерархии целей реализуется комплекс операций по образованию цепи: цель — мероприятие — ресурсы, т. е. сразу строится совокупное программное дерево, включающее как собственно цели, так и мероприятия по их достижению и требуемое ресурсное обеспечение мероприятий. В этом случае дерево целей объединяет последовательно дерево задач (проблем), дерево мероприятий и дерево ресурсов. Тем самым построение дерева целей далеко выходит за рамки целевой разработки системы (операции) и объединяет структурную и ресурсную разработки. В этом случае структура и содержание дерева целей предопределяются программой в целом, т. е. программным деревом.

Полезным представляется комбинация обоих подходов, что соответствует приведенным в разд. 3.1 закономерностям целеобразования. В этом случае сначала может быть построено «обычное» дерево целей. После обозначения задач дополнительно могут быть разработаны отдельные планы их выполнения — планы мероприятий, в которых будут спроектированы потребные ресурсы, исполнители, сроки и т. п. Подобные планы, очевидно, представляют декомпозицию системы целей во времени. Поэтому для их разработки может потребоваться привлечение методов сетевого планирования.

В общем случае структуры для представления детализированной цели в подобном виде носят название **матричных структур**. Как видно из табл. 3.1, такая структура позволяет визуально объединить как сами цели (с возможностью выделения и указания подцелей), так и необходимые действия, ресурсы для их выполнения.

Таблица 3.1

Пример плана мероприятий (фрагмент)

№ п/п	Цель (подцель)	Наименование мероприятия	Ответственный исполнитель	Сроки
2.4	Создание информационно-поисковой системы	Разработать алгоритмы поиска	Рук. группы разработки В. И. Пупкин	Январь 2015
		Разработать процедуры поиска по базе данных электронного справочника	Рук. группы разработки В. И. Пупкин	Февраль 2015
		Провести тестирование	Нач. отдела электронной версии В. Е. Толстоzubов	Март — апрель 2015

Матричная структура может быть использована как еще одна форма для отображения компонентов сложной цели и взаимосвязей между ними. Так, для дерева целей, приведенного на рис. 3.2, может быть предложена форма отображения целей в виде матрицы (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2

Матричная структура системы целей

Z_0	Z^1_1	Z^2_{11}	...	$Z^m_{1...1}$
		Z^2_{11}		
	Z^1_2	Z^2_{21}		$Z^m_{2...1}$
		Z^2_{22}		

В процессах анализа и синтеза организационно-экономических систем дерево целей играет важную роль, т. к. позволяет дать полный ответ на вопрос, что должна делать система, т. е. каково ее назначение. При этом уже при построении дерева целей можно в основном определить структуру самой системы. Иначе говоря, можно ответить не только на вопрос, что должно выполнять предприятие, но и кто должен это выполнять.

На рис. 3.5 показан фрагмент дерева целей предприятия, занимающегося созданием и распространением электронного рекламно-информационного справочника.



Рис. 3.5. Пример дерева целей предприятия

На этом примере видно, что каждая цель 1-го уровня может представлять собой некоторую службу (направление деятельности) предприятия и объединять в себе комплекс задач этой службы. Так, достижение цели «выпуск рекламно-информационного справочника» происходит за счет сбора информации, создания электронной версии справочника и его распространения. Подцели более низких уровней, в свою очередь,

могут соответствовать отделам той или иной службы, рабочим группам или отдельным исполнителям.

Очевидно, что конкретная структура предприятия будет также зависеть и от объемов выполняемой работы. В примере со сборником возможно, что сбором информации для него и его распространением будут заниматься одни и те же люди. В любом случае построение дерева целей позволяет упорядочить собственные представления о деятельности предприятия и спроектировать его примерную организацию.

Дадим **рекомендации**, которые могут быть полезны **при построении дерева целей** [1–3, 13]:

- при декомпозиции следует *уменьшить самостоятельность целей*, т. е. стремиться выбрать такое разложение подцелей, для достижения которых существуют не зависящие друг от друга способы и средства достижения. Объединение подцелей одной ветви «дерева» означает достижение цели более высокого уровня (конъюнктивность);
- глубина декомпозиции цели должна быть такой, чтобы *на нижнем уровне были независимые задачи* (чтобы не было «или — или»). Они должны быть обеспечены информацией, необходимой для синтеза показателей, которые дали бы характеристику достижения подцелей, и критериев, с помощью которых можно было бы выбирать альтернативные средства достижения целей;
- дерево целей можно назвать деревом отношения «часть — целое» на множестве целей (задач). Это значит, что *подцели одного уровня не связываются какими-то условиями последовательного их достижения*. Точнее, для построения дерева целей в общем случае не является важным, в какой последовательности должны достигаться подцели, т. е. решаться задачи, расположенные на одном уровне. Хотя не исключено, что такая информация может иметь большое значение для определенных задач. Поэтому исследователь вправе усовершенствовать дерево целей и задать на множестве целей порядок, установив, например, их определенную нумерацию или связав порядок достижения целей с их КОВ;
- *при декомпозиции цели целесообразно ограничиваться 5–7 подцелями* (об этом говорилось выше). Общее количество уровней целесообразно ограничивать четырьмя-пятью в зависимости от масштаба объекта. Чрезмерное дробление целей затрудняет

распределение функций между исполнителями, это означает излишнее усложнение организационной структуры системы;

- *подцели одного уровня должны быть равноценны* по своему масштабу и степени агрегированности входящих в них подцелей. При нормальном положении дел на одном уровне все подцели можно объединить в одно множество (класс) по некоторому общему принципу. Если такое объединение возможно только для части подцелей, а остальные подцели не вписываются в общее множество, то, вероятно, были допущены ошибки при декомпозиции, и на одном уровне расположились цели разной общности.
- для повышения качества дерева целей *могут привлекаться эксперты*, каждый из которых строит свое дерево целей. Затем происходит совместное обсуждение и обобщение результатов в едином дереве целей;
- в хорошо организованной системе *за выполнение каждой цели должен нести ответственность один-единственный орган управления (структурный элемент)*. Иначе говоря, иерархия «дерева целей» должна совпадать с иерархией «дерева» организационной структуры предприятия. В противном случае появятся задачи, которые одновременно решаются несколькими отделами предприятия, или отделы, которым нечего делать.

Построение дерева целей может быть выполнено различными людьми и с различных точек зрения на исследуемую систему. В итоге могут быть получены различные по содержанию системы целей.

При возможности пересечения этих систем (наличие общих формулировок генеральной цели и подцелей) они все же будут отличаться, главным образом, в силу разной точки зрения на систему, использования разных терминологий. Так, рассматривая организационно-экономическую систему — предприятие и проблему повышения эффективности управления, можно разрабатывать систему целей исходя из различных точек зрения:

- руководителя предприятия;
- руководителя ИТ-службы, которая занимается разработкой ЭИС для автоматизации управления;
- руководителя экономической службы, которая будет заниматься оптимизацией бизнес-процессов и внедрять новые бизнес-процессы в контуре ЭИС.

Каждая точка зрения отличается уровнем абстракции и применяемой терминологией.

Для данного случая могут быть построены три дерева целей с использованием разных терминов и, возможно, различных выразительных средств. Ниже приводится иллюстративный пример такого построения. На верхнем уровне абстрагирования будет дерево целей, построенное с точки зрения руководителя (назовем условно — дерево целей руководителя). На нижних уровнях абстрагирования — дерево целей ИТ-службы и дерево целей экономической службы (рис. 3.6).

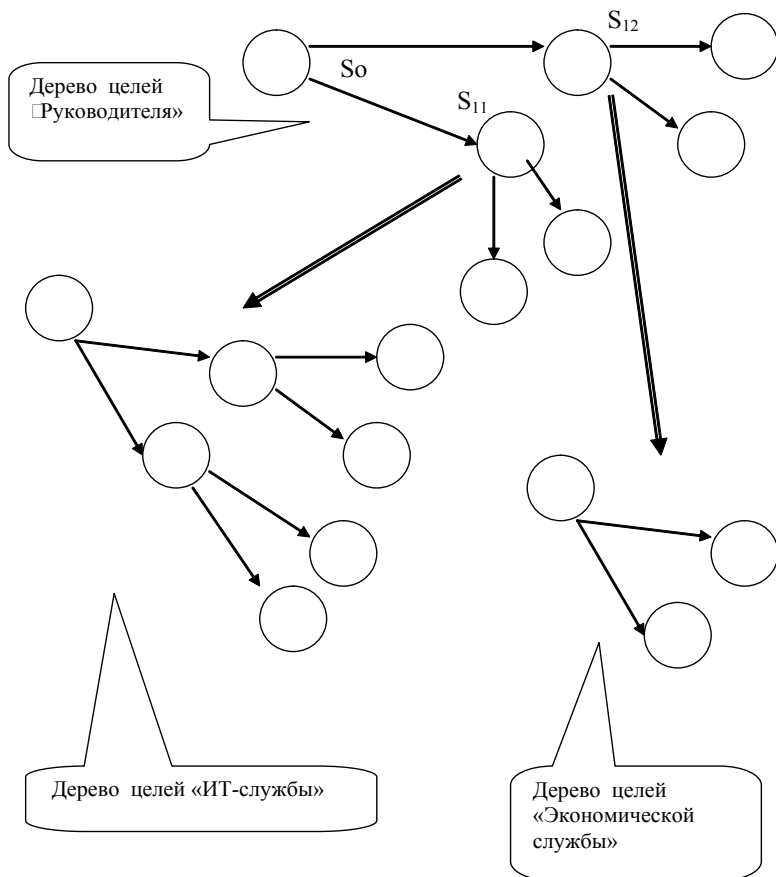


Рис. 3.6. Стратификация системы целей

Цели дерева «Руководителя»:

S_0 — цель: повысить эффективность управления предприятием;

S_{11} — цель: создать корпоративную ЭИС для автоматизации управления — и ее подцели:

- создать (выбрать, разработать) программно-аппаратное обеспечение ЭИС;
- обеспечить внедрение и эксплуатацию ЭИС;

S_{12} — цель: оптимизировать бизнес-процессы — и ее подцели:

- усовершенствовать существующие бизнес-процессы;
- внедрить новые бизнес-процессы для работы в ЭИС.

Другие деревья будут содержать свои элементы и формулировки. Их элемент-цели будут более «приземленными», т. е. менее абстрактными, а формулировки целей будут выполнены в иных терминах на языке профессионалов.

Такое разделение системы целей на уровни абстракции называется **стратификацией**. Уровни в такой стратификации называются стратами.

Стратифицированное представление целей и функций системы особенно необходимо при исследовании сложных, многоаспектных систем. В многоуровневых иерархических, т. е. больших системах применяется еще одно разделение системы целей — на **эшелоны**. Под эшелоном понимается некоторый уровень многоуровневой системы (например, уровень управляющей компании холдинга, уровень подчиненной производственной компании). Структура целей на том или ином эшелоне будет отражать цели данного эшелона управления (см. подробнее [6, 24]).

Практика использования названных инструментов структуризации цели в системном анализе основывается на разработке и **применении методик анализа целей и функций управления**. Подобные методики включают последовательность этапов и средств их реализации, облегчающих формирование, оценку и анализ целей и функций систем управления (на крупных предприятиях, в больших социально-экономических системах).

Как отмечается в [6], разработка методики структуризации целей — одна из принципиальных особенностей системного анализа, отличающая его от других направлений системных исследований. В настоящее время разработаны и применяются различные методики анализа. В обобщен-

ном виде они включают следующие основные этапы, которые могут выполняться в цикле:

- формирование первоначального варианта (вариантов) структуры целей и функций системы. При формировании первоначальных вариантов структур целей могут использоваться два основных подхода (или их комбинация): формирование целей «сверху» — от более общего к более простому, частному; формирование целей «снизу» — определение множества известных частных задач, установление связей между ними, укрупнение и обобщение в цели более высоких уровней;
- оценка вариантов структуры целей и их корректировка. Незначительные по важности элементы структуры целей (цели, подцели, задачи) и не связанные с иными высокозначимыми целями исключаются из структуры либо опускаются на нижние уровни. При корректировке могут возникать вырожденные ветви дерева целей (когда узлу подчинена только одна ветвь), а также разные варианты новой структуры целей. Другой задачей оценки является сравнение вариантов структур с точки зрения ее формы и удобства использования.

Среди получивших распространение методик анализа целей и функций можно отметить следующие:

- методику структуризации целей и функций, основанную на концепции деятельности;
- методику, основанную на двойственном определении системы;
- методику структуризации целей системы, стремящейся к идеалу, и др.

Методики анализа системы целей и функций отличаются разными признаками и способами декомпозиции целей, различными исходными терминами и взглядами на разбиение системы. Более подробно с этими и другими методиками анализа целей можно ознакомиться в [1, 2, 6].

В заключение главы отметим следующее. В литературе по теории систем и системному анализу подчеркивается важность целевого структурно-логического анализа проблем: не решение, а постановка задач, не достижение, а выдвигание цели, не доказательство, а формулирование теоремы являются критерием «интеллектуальности», особым качеством человеческой психики, отличающим ее от психики животных и от возможностей ЭВМ. Эффективность принимаемых решений полностью определяется качеством целевой проработки решаемых проблем и задач.

Резюме

1. При разрешении проблем, чем и занимается системный анализ, можно в общем случае сформулировать цель исследования как «снять существующую проблему». Однако подобная формулировка не дает представления о том, что и с помощью чего нужно делать. Практически приходится формировать целую систему целей. Речь идет о последовательном упрощении и уточнении исходной цели, в результате чего формируются подцели, задачи, взаимосвязь которых и составляет эту структурированную систему целей.

2. Разработано несколько структур для представления системы целей. Наиболее известна иерархическая структура «дерево целей». Дерево целей представляет собой декомпозицию генеральной цели в пространстве. Другая распространенная структура — сетевая — показывает декомпозицию исходной цели в пространстве. Практически эта структура может представлять собой множество возможных состояний исследуемой системы и возможные переходы между ними.

3. При решении сложных проблем в больших системах, где необходимы различные аспекты исследований, представление разных точек зрения, применяется построение множества деревьев целей. Каждое может отражать свою точку зрения. Совокупность таких деревьев будет составлять систему целей, разделенных на уровни абстракции — страты. Для решения задач структуризации целей при исследовании сложных проблем в системном анализе разработаны методики структуризации целей и функций.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего нужна структуризация цели в системном исследовании?
2. Какие виды структур целей существуют?
3. Что означает декомпозиция цели в пространстве и во времени?
4. Что представляет собой дерево целей, из каких элементов оно состоит?
5. Для чего используются разные точки зрения при построении деревьев целей?

Глава 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОДЕЛИ СИСТЕМ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

§ 1. Понятие модели и классификация моделей

Решение задач, связанных с исследованием, проектированием, совершенствованием систем (особенно сложных организационно-экономических или технических), бывает невозможно, трудно или нерационально проводить на самих этих системах.

К подобным задачам относятся, например, разработка и внедрение оптимальных вариантов бизнес-процессов на предприятии. Теоретически можно сначала попробовать внедрить каждый из возможных вариантов бизнес-процессов и путем простого сравнения по некоторым показателям выбрать наилучший. Однако практически это приведет к таким затратам времени и сил, после которых не всякое предприятие сможет выжить. Очевидно, что нужна некоторая предварительная оценка, проигрывание вариантов бизнес-процессов на каком-то упрощенном представлении самого предприятия и (или) процесса.

Другим примером может быть проведение экспериментов, позволяющих в масштабах отрасли, региона или государства внедрять новые технологии, варианты организационных структур, варианты взаимодействия предприятий и т. п. В подобных случаях, как правило, для проверки новшеств выбираются некоторые типичные предприятия (регионы, города), которые, заменяя собой остальные предприятия (регионы, города), выступают в качестве объекта эксперимента.

В этих и других случаях исходная система заменяется некоторой другой материальной или абстрактной системой. Эта вторая система называется моделью. Первую же будем называть **«объект моделирования»** или **«объект-оригинал»**. Дадим следующее определение.

Модель — это материальная или идеальная система, которая в определенных условиях может заменить объект-оригинал и служит для получения информации об объекте-оригинале и (или) других объектах, с ним связанных.

Уточняя определение, сформулируем следующие важные положения [5]:

- модель — идеальный или материальный объект;
- модель — отображение или воспроизводство объекта-оригинала;
- модель — источник получения информации.

Можно перечислить характерные случаи, когда требуется модель (как в научно-исследовательской, так и в производственной деятельности):

- объект-оригинал есть сложная система, непосредственное изучение которой затруднено, невозможно или экономически невыгодно;
- непосредственное экспериментирование с объектом-оригиналом может оказать разрушительное воздействие на него или другие объекты, с ним связанные;
- необходимо спрогнозировать возможное состояние или поведение объекта в будущем;
- необходимо разработать варианты и выбрать оптимальное решение, связанное с функционированием объекта-оригинала;
- объект-оригинал еще не существует в материальном виде, однако уже на этапе проектирования требуется представить информацию об этом объекте, оценить эффективность выбранных методов и средств его разработки;
- необходимо упрощенное представление информации об объекте-оригинале с целью информационного обеспечения людей, работающих с ним;
- при обучении работе с моделируемой системой, в играх и т. п.

Термин **моделирование** означает исследование объектов с помощью их моделей. В более широком смысле моделирование понимается как процесс, включающий не только исследование, но и разработку модели (рис. 4.1).

Экспериментальное исследование реальных объектов на их моделях называется **модельным экспериментом**. В модельном эксперименте модель выступает одновременно и средством, и объектом исследования. При этом модель может как применяться для замещения самого объекта, так и быть замещением некоторых внешних условий и (или) систем, связанных с исследуемым объектом в реальном мире.

Чтобы выполнять свои функции, **модель должна** удовлетворять двум основным требованиям [5]: **быть достаточно простой**, чтобы в отличие от оригинала ее можно было исследовать, экспериментировать с ней; **быть подобной объекту-оригиналу**, с необходимой полнотой воспроизводить его свойства.

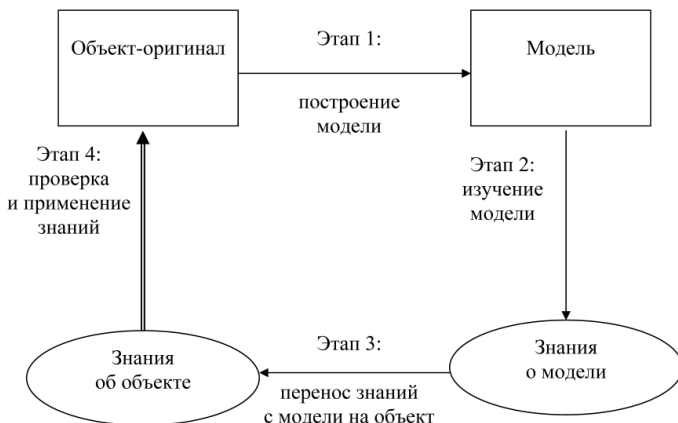


Рис. 4.1. Общая схема процесса моделирования

Эти требования в некоторой степени противоречат друг другу. Действительно, наиболее подобной оригиналу будет модель, которая в точности воспроизводит его состав и структуру. Однако в этом случае модель не станет упрощением объекта-оригинала. Поэтому подобие должно быть **адекватным решаемой задаче**.

Так, если решается задача разработки оптимального плана выпуска продукции, нет смысла строить макет предприятия в масштабе один к одному. Для таких задач используются специальные математические модели, которые позволяют не только разработать план выпуска, но и определить условия, для которых он будет оптимальным.

Определение возможных видов моделей и границ их применимости позволяет заранее указать на способы и средства, с помощью которых могут быть решены те или иные задачи моделирования. Иначе говоря, для построения простых и адекватных задачам исследования моделей необходимо представлять, какие виды моделей существуют, в каких случаях они используются и какими выразительными возможностями обладают.

По средствам построения моделей они делятся на следующие обобщенные классы, которые показаны на рис. 4.2.

Материальные (предметные) модели являются моделями, которые воплощены в каких-либо материальных объектах, имеющих искусственное или естественное происхождение. Среди них выделяют *физические модели*, которые представляют собой объекты той же природы,

что и объекты-оригиналы. Этот вид моделей широко используется в технике при испытании и эксплуатации образцов. Например, путем физического моделирования (проведения натуральных испытаний) определяются технико-экономические характеристики экспериментального образца (автомобиля, станка, ЭВМ, самолета и т. п.), а затем результаты испытаний распространяются на все другие экземпляры данного типа. В экономике широко используются эксперименты на отдельных предприятиях для оценки показателей других предприятий данного класса.

В **предметно-математических моделях** не ставится задача воспроизвести физическое подобие с объектом-оригиналом. Главным здесь является воспроизведение закономерностей протекания процессов. Таким образом, предметно-математические модели обладают следующими характерными чертами:

- они воплощаются в предмете (материальны);
- процессы, протекающие в таких моделях, отличны по природе от процессов в объекте-оригинале;
- процессы в модели и объекте-оригинале подчиняются одним и тем же закономерностям. Практически это означает, что процессы в модели и в объекте-оригинале могут быть описаны с помощью одних и тех же математических зависимостей.



Рис. 4.2. Обобщенная классификация моделей по средствам построения

Среди предметно-математических можно выделить такие виды моделей:

- *компьютерная (машинная) модель*, в которой основой для моделирования процессов выступают математические выражения, описывающие зависимости между их параметрами. Эти модели есть, по существу, компьютерные реализации знаковых математических моделей;
- *полунатурная модель*, в которой наряду с ЭВМ используются отдельные блоки реальных систем, функционирующие под управлением людей или самой ЭВМ;
- *модель-аналог*, когда одна реальная система используется для моделирования другой системы, отличной по своей природе от первой.

В классе **идеальных моделей** выделяют *мысленные* (существующие в виде мысленных образов) и *знаковые модели*. Последние объединяют довольно разнообразные модели, отличающиеся прежде всего по степени формализации действительности. Можно выделить следующие основные виды знаковых моделей:

- описательные (алгоритмы, программы, текстографические описания и т. п.);
- схематические (различные блок-схемы, диаграммы и т. п.);
- графоаналитические (построенные с помощью инструментариев различных сетей, графов);
- математические (логико-математические) модели.

Приведенная классификация является достаточно условной и, по-видимому, неполной. Важно отметить, что в процессе решения прикладных задач могут использоваться последовательно или даже одновременно разные модели. Так, моделирование с целью оптимизации организационной структуры и технологий бизнеса на предприятии выполняется, как правило, с использованием большого числа различных моделей. На первом этапе формируются примерный мысленный образ и описательная модель целевой системы. Для лаконичного структурированного отображения самого предприятия и протекающих в нем процессов используются различные варианты структурных схем и диаграмм (например, диаграммы потоков данных — DFD, диаграммы процессов в методологии IDEF0, модели бизнес-процессов BPMN и др. [14]).

Для количественного выражения и оптимизации критериев качества бизнес-процессов могут быть применены математические оптимизационные модели, для исследования которых, в свою очередь, применяются программно-аппаратные средства ЭВМ, т. е. предметно-математические модели.

В общем случае сначала строится комплекс знаковых моделей, которые в совокупности отображают текущее положение дел на предприятии.

Потом строятся модели, которые отображают целевое состояние предприятия (организационную структуру, бизнес-процессы и функции, роли и обязанности управленческого персонала и др.).

В практике реинжиниринга первый комплекс в совокупности называется информационной моделью «как есть» (as-is); второй — моделью «как должно быть» (to-be).

Предметно-математические и логико-математические модели образуют основу математического моделирования в широком смысле. Предметно-математические модели служат средством технической реализации моделей математических и, следовательно, предполагают существование последних. Рассмотрим математическое моделирование более подробно.

§ 2. Математическое моделирование

Математическая модель — запись на некотором математическом языке существенных характеристик структуры, состава или функционирования моделируемой системы.

Упрощенно говоря, математическая модель есть выражение зависимости между ключевыми параметрами процессов в объекте-оригинале посредством математических выражений — уравнений, неравенств. Исследование математической модели предполагает решение систем уравнений, неравенств при принятых предположениях о тех или иных значениях параметров модели. Эти параметры могут характеризовать как внутреннее состояние моделируемой системы, так и внешние воздействия или окружающие условия. Важно то, что все элементы модели могут быть интерпретированы в терминах моделируемой системы. Иначе говоря, каждый символ модели есть некоторый параметр реального процесса или системы.

Распространение математических моделей связано, главным образом, со следующими фактами:

- математическая модель лаконична и абстрактна, позволяет избавиться от второстепенных особенностей предметной области и перейти к математическим конструкциям, общим для разных областей и задач;
- для анализа и исследования математических моделей используются известные и достаточно проработанные математические ме-

тоды. При этом результаты, полученные при исследовании одних систем, могут быть в значительной степени применимы для других систем, математические модели которых выражаются теми же зависимостями;

- исследование математических моделей относительно легко поддается автоматизации с помощью ЭВМ. При этом для решения прикладных задач моделирования существует множество пакетов программ (например, широко известны такие системы математического моделирования, как Mathcad, Matlab, WinMaple и др.).

Математическая модель включает следующие три группы элементов [5]:

- **внутренние параметры объекта** — вектор состояния:

$$X = (x_k | k = 1, 2, \dots, N);$$

- **характеристики внешних** (по отношению к объекту) **изменяемых условий** — внешних воздействий:

$$U = (u_i | i = 1, 2, \dots, M);$$

- **выходные характеристики объекта**, которые нужно определить:

$$Y = (y_s | s = 1, 2, \dots, R).$$

В общем случае математическую модель можно интерпретировать как преобразователь входных параметров в выходные:

$$Y = G(U), \quad (4.1)$$

где G — закон преобразования (функция, набор функций), определить который требуется при построении модели.

Иначе говоря, модель есть математическая запись, позволяющая определить реакции моделируемого объекта на входные воздействия. Можно предположить, что реакция объекта на те или иные воздействия будет зависеть от того, в каком состоянии он сам находится (например, реакция исправного автомобиля на входное воздействие вида «повернуть руль» может существенно отличаться от реакции на это же воздействие автомобиля в неисправном состоянии). Поэтому более общей будет следующая запись модели:

$$Y = G(U, X), \quad (4.2)$$

где выход объекта Y зависит как от вектора U , так и от внутреннего состояния системы — вектора X .

В более сложном случае входные воздействия меняются во времени, т. е. U есть функция от параметра времени t , и реакция самой системы также может зависеть от времени. Тогда вместо (4.2) можно записать более общее выражение для математической модели:

$$Y(t) = G(U(t), X). \quad (4.3)$$

Компонентами вектора состояния могут выступать как константы (в этом случае можно говорить, что объект находится в одном состоянии на протяжении всего промежутка времени), так и переменные. Во втором случае можно предположить, что состояние объекта меняется во времени под действием каких-то внешних возмущений, т. е.:

$$X(t) = F(U(t)).$$

Таким образом, можно утверждать, что текущее состояние зависит от того состояния $X(t_0)$, в котором объект находился в начальный момент времени t_0 , и от той совокупности воздействий $U(t_0, t)$, которые наблюдались в интервале $[t_0, t]$:

$$X(t) = F[X(t_0), U(t_0, t)]. \quad (4.4)$$

Учитывая сказанное, вместо (4.3) можно использовать следующие общие выражения:

$$Y(t) = G(U(t)) \quad (4.5)$$

— для случая, когда состояние объекта не меняется во времени;

$$Y(t) = G(U(t), X(t)), \quad X(t) = F(U(t)), \quad (4.6)$$

или, полагая справедливым (4.4),

$$Y(t) = G[X(t_0), U(t_0, t)] \quad (4.7)$$

— для случая, когда состояние объекта меняется во времени под воздействием внешних факторов.

На рис. 4.3 показана обобщенная **схема процесса математического моделирования**, которая является детализацией общей схемы моделирования (см. рис. 4.1).

Рассмотрим основные этапы.

От поставленной задачи и целей исследования будет зависеть вся дальнейшая работа. На этом этапе выполняются системный анализ объекта исследования и постановка задачи моделирования. Главное здесь — четкая

формулировка задач, принимаемых ограничений, допущений и вопросов, на которые требуется получить ответы. В соответствии с этим на следующем этапе выявляются основные понятия предметной области, элементы объекта исследования и взаимосвязи между ними, формируются предварительные суждения о виде и структуре математической модели. На данном этапе собирается и представляется с помощью различных наглядных средств информация об объекте моделирования, включая таблицы, графики, тексты. Важным здесь видится формирование гипотез (хотя бы предварительных), объясняющих поведение и развитие объекта.



Рис. 4.3. Схема математического моделирования на базе ЭВМ

На следующем этапе выполняется формализация полученных сведений и представлений, выражение поставленной задачи в виде конкрет-

ных математических зависимостей и отношений (функций, уравнений, неравенств и т. п.). Обычно сначала строится основная конструкция (тип математической модели и изучаются возможности ее применения, а затем уточняются детали этой конструкции (конкретный перечень переменных и параметров, форма связей).

Целями этапа математического анализа выступают выяснение свойств модели (границы применимости, непротиворечивость и т. п.), ее возможное упрощение, выбор методов решения (решение модели). Здесь применяются чисто математические приемы исследования. Наиболее важный момент — доказательство существования решения в сформированной модели. Если будет доказано, что решения не существует, необходимо корректировать постановку задачи либо способы ее формализации.

Для многих задач единственно возможными методами исследования являются численные методы. Следующие этапы предполагают численное исследование модели с помощью ЭВМ. Сначала подбираются исходные данные (константы и переменные модели), которые адекватно характеризуют как сам объект, так и внешние условия его функционирования. Далее, на этапе численного решения, разрабатывается или выбирается алгоритмическое и программное обеспечение для проведения экспериментов. Подставляя исходные данные с помощью ЭВМ, находят реакции модели на различные внешние воздействия.

Полученные результаты численных решений подвергаются **формальному и смысловому анализу**. Формальный анализ предполагает проверку правильности ввода данных, работы алгоритмов и программ. Неформальный, смысловой анализ применяется для оценки практической значимости, полезности, применимости полученных результатов. Здесь же дается ответ, насколько полно достигнута поставленная цель исследования.

§ 3. Функциональные и структурные математические модели

Математическая модель, записанная в виде (4.5), (4.6) или (4.7), т. е. с помощью выражений, показывающих выходные реакции системы на входные воздействия, называется **функциональной моделью**. Внутренняя структура системы в таких моделях не отображается и не исследуется. Абстрактным образом функциональной модели является мо-

дель типа «черный ящик», структура которого совершенно не видна (см. разд. 4.6).

Другим видом записи и назначением обладают **структурные математические** модели. Они отражают внутреннюю организацию объекта: его составные части, внутренние параметры, их связи с «входом» и «выходом». Так, для системы, функциональная модель которой есть выражение (4.6), структурная модель может быть записана следующим образом:

$$S = (X, U, Y, \rho_1, \rho_2),$$

где ρ_1 — некоторое отношение причинно-следственного характера между состоянием и входными воздействиями, $\rho_1 \subseteq U \times X$;

ρ_2 — некоторое отношение между входом и выходом, $\rho_2 \subseteq (U \times X) \times Y$.

Известно общее представление некоторой системы (см. гл. 1) как множества элементов, связанных между собой определенными отношениями. В соответствии с этим представлением можно использовать следующую обобщенную структурную модель любой системы C :

$$C = \{X, R\},$$

где X — множество элементов системы,

R — множество отношений между элементами X .

Отметим, что наглядным графическим изображением такой модели может быть граф отношений R на множестве элементов X . Для компактной математической записи может использоваться матрица

$$R = (r_{ij}),$$

где $r_{ij} = 1$, если в системе имеется связь между элементами x_i и x_j , и $r_{ij} = 0$ — в противном случае.

Структурные математические модели получили широкое применение в научном исследовании после того, как математика перешла от изучения чисто количественных отношений между величинами к изучению абстрактных структур разнообразного характера. Сегодня для моделирования и исследования структур систем используются математические методы линейной алгебры, теории графов и сетей, топологии, матричные представления и др. Структурные математические модели позволяют наглядно и в то же время строго изобразить элементы систем и процессов, а также взаимосвязи между ними; провести анализ и предложить способы усовершенствования структур систем с их количественным обоснованием.

§ 4. Оптимизационные математические модели

Среди широкого круга задач, решаемых с помощью функциональных математических моделей, можно выделить два основных их вида: **задачи прямого счета** и **оптимизационные задачи**. К первым относят такие задачи, в которых результат получают подстановкой исходных данных в заданную формулу (систему уравнения, неравенств). Математические модели, предназначенные для таких задач, показывают реакцию системы в ответ на некоторые исходные данные — параметры состояния и (или) входные воздействия.

В оптимизационных задачах ставится иная цель — определить некоторое желаемое (максимальное или минимальное) значение целевой функции путем подбора соответствующих значений входных переменных.

Обобщенная оптимизационная модель запишется следующим образом:

$$y = f(X) \rightarrow \max (\min),$$

$$g_j(X) \leq_{(\geq, =)} b_j, j = 1, 2, 3, \dots, m,$$

где y — выходная характеристика (критерий оптимизации), которую требуется привести к экстремальному значению — максимуму или минимуму в зависимости от ее смысла;

$f(X)$ — целевая функция, т. е. функция, указывающая зависимость критерия оптимизации от значения параметров X ;

$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ — набор из n параметров процесса, которыми можно управлять при поиске (создании) оптимального решения, эти параметры процесса называют в теории оптимизации переменными процесса, а X — вектором состояния процесса; еще говорят, что x есть компоненты (координаты) вектора X ;

$g_j(X)$ — функции-ограничения, число которых равно m ;

b_j — некоторые постоянные величины, выражающие количественные значения ограничений, знаки ($\geq, =$) подразумевают, что в записи ограничения вместо « \leq » может быть или « \geq », или « $=$ ».

В зависимости от вида функций $f(X)$, $g_j(X)$ различают такие известные модели, как модели задач линейного, нелинейного, целочисленного программирования и др.

Оптимизационные модели находят широкое применение в системном анализе, исследовании операций для поиска и количественного обо-

снования оптимальных решений, особенно в экономических, социальных, организационных системах.

Например, оптимизационная **модель задачи линейного программирования** может использоваться для оптимального планирования выпуска продукции предприятия. Пусть предприятие может выпускать n видов продукции. Требуется определить, сколько единиц того или иного вида продукции следует произвести в заданный период, чтобы при этом получить максимальную прибыль и уложиться в имеющиеся ограничения на ресурсы (материальные, финансовые, кадровые и др.). Обозначим x_i — число единиц продукции i -го вида; a_{ji} — затраты j -го ресурса на выпуск единицы i -й продукции; b_j — имеющийся запас j -го ресурса; c_i — прибыль от реализации единицы i -й продукции. При этих обозначениях можно записать следующую модель в виде классической задачи линейного программирования:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max,$$
$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j, j = 1, 2, 3, \dots, m,$$
$$x_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Решением данной задачи будет вектор $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$, в котором компоненты x_i^* (некоторые из них могут быть равны нулю) показывают, сколько единиц i -й продукции нужно выпустить, чтобы прибыль при данных ресурсах была наибольшей.

§ 5. Имитационное моделирование

Имитация переводится на русский язык как «воспроизведение, подделка». В значительной степени этот перевод отражает суть имитационного моделирования, в котором выполняется воспроизведение моделируемого объекта (процесса, явления) с помощью различных инструментальных средств, чаще всего на ЭВМ [28].

В отличие от математической модели **имитационная модель** совсем не обязательно будет содержать строгие математические описания зависимостей между параметрами моделируемых процессов. Напротив,

имитационные модели используются, если строгое математическое описание процессов в моделируемой системе невозможно или крайне затруднено:

- когда речь идет о сложной системе, зависимости между параметрами которой не известны в необходимой степени или полное воспроизведение их приводит к излишне громоздким системам уравнений;
- когда на функционирование системы оказывает влияние множество случайных факторов;
- когда требуется воспроизвести интеллектуальные функции человека (например, имитационные модели вывода решений в системах искусственного интеллекта) и др.

Главным в имитационной модели является алгоритм, позволяющий воспроизвести последовательность и логику событий в моделируемой системе. Здесь под **событием** понимается скачкообразное изменение состояния моделируемой системы. Имитационная модель должна содержать правила, позволяющие распознавать текущие состояния, и правила смены состояний при возникновении тех или иных условий. Сам **процесс** можно рассматривать как совокупность некоторых взаимосвязанных действий или как последовательную смену состояний моделируемой системы (второе не противоречит первому, если принять соответствие между состояниями системы и действиями, которые она производит в этих состояниях).

Имитационное моделирование как метод решения прикладных задач стало широко применяться в связи с распространением методов прикладной математики в управлении экономикой, планировании, исследовании операций, проектировании сложных систем. Термином «имитация» стали обозначать способ выбора рациональных вариантов управления сложными процессами (варианты организационной структуры предприятия, планов производства, конструкций проектируемых объектов и т. п.), при котором в процессе прогона имитационной модели воспроизводится предлагаемый вариант и проверяется его влияние на некоторые показатели эффективности управления. Сама процедура такого выбора становится человеко-машинной, а выбор может быть осуществлен человеком — пользователем компьютера не только по формальным признакам (значениям показателей), но и с учетом неформальных оценок.

В отличие от классических методов оптимизации, основанных на использовании специальных математических моделей, при имитации вариант решения задается, как правило, извне, а не является результатом

моделирования. Исследователю остается подобрать переменные модели так, чтобы они воспроизводили некоторые условия (внешние и внутренние), в которых будут реализованы решения и которые смогут показать, насколько предлагаемые решения хороши. Впрочем, такой подход не исключает случаи, когда варианты рациональных решений могут быть выявлены и в процессе имитации поведения сложных объектов.

С имитационным моделированием связывают специальный метод исследования, который называется **статистическим моделированием**. В его основу положена имитация процесса функционирования объекта на ЭВМ с реализацией случайных событий, величин и процессов, влияющих на объект изучения. Для воспроизведения случайных событий и величин используются специальные программы — датчики случайных чисел. Совокупность всех случайных воздействий рассматривается как статистический материал, получаемый путем многократного воспроизведения эксперимента и допускающий последующую обработку. В результате выявляются искомые характеристики объекта исследования, которые получаются путем усреднения случайных значений и статистической обработки данных.

В настоящее время имитационное моделирование связывается с обязательным использованием ЭВМ. Распространенный термин **«компьютерное моделирование»** по существу означает имитационное моделирование некоторых процессов на ЭВМ. При этом кроме задач проверки и выбора рациональных вариантов решений все большее распространение получают такие задачи, как:

- обучение и тренировка операторов и менеджеров (имитация функционирования систем с учетом внешних влияний и управляющих воздействий);
- автоматизация управления сложными организационно-техническими объектами (имитация рассуждений человека при выборе вариантов управляющих воздействий);
- воспроизведение поведения сложных объектов и миров в игровых и других прикладных программах.

§ 6. Модель типа «черный ящик», модели состава и структуры

Рассмотрим некоторые специальные модели, применяемые в системном анализе [5]. Модель типа «черный ящик» отображает входы и выходы системы без представления информации о внутренних элементах и связях системы. Такая модель особенно полезна при представлении систем на макроуровне, когда необходимо провести анализ внешних связей системы с другими системами (например, связи предприятия с поставщиками и потребителями продукции). В контексте назначения системы модель «черный ящик» позволяет определить необходимые входные ресурсы и ожидаемые результаты работы предприятия и особенно целесообразна при последовательном структурном анализе системы (как существующей, так и проектируемой).

При составлении модели типа «черный ящик» важно учесть все входы и выходы системы, имеющие необходимое значение с точки зрения назначения системы. Средствами построения модели «черный ящик» могут служить:

- текстовые описания (например, в виде таблиц с графами «вход», «выход»);
- обобщенные блок-схемы, в которых вся система отображается единым блоком;
- термины теории множеств с перечислением элементов входного множества X и выходного множества Y .

Модель состава представляет информацию о внутреннем содержании системы, описывает, из каких подсистем и элементов она состоит. Построение модели состава выполняется поэтапно на разных уровнях детализации системы. Сначала выделяются наиболее крупные подсистемы, потом их функциональные составляющие — элементы подсистем и т. д. Разбиение системы на части при определении состава соответствует принимаемой точке зрения и цели использования модели.

Модель структуры предназначена для отображения взаимосвязей (отношений) между элементами рассматриваемой системы. Модель структуры можно рассматривать как дополнение модели состава, которая воспроизводит элементы системы. Однако, как правило, перечень одних только отношений между элементами без самих этих элементов не делается. Поэтому модель структуры является наиболее полной моделью, характеризующей как состав основных элементов, так и взаимосвязи между ними. При построении модели структуры выделяются инте-

ресующие виды отношений, исходя из которых выбираются элементы, участвующие в этих отношениях. Распространенными являются:

- **отношение «часть — целое».** Обозначим отношение «часть — целое» как ρ . Пусть отдел A входит в состав фирмы S . Тогда между A и S имеется отношение ρ , что математически можно записать так: $A \rho S$ или $\rho(A, S)$. Подобные отношения служат основой для разработки иерархических структурных схем предприятий (организационной структуры);
- **отношение «вид — род».** Например, конкретная фирма ООО «Мебель» может быть видом (частным случаем) рода фирм «Производители мебели», т. е. ООО «Мебель» и «Производители мебели» связаны отношением «вид — род»;
- **отношение «управлять работой».** Такого типа отношения складываются, например, между службой управления и производственным отделом предприятия;
- **отношение «обеспечивать работу».** Подобное отношение складывается, например, между складом или службой поставок и производственным участком;
- **отношение «роль (функция) — исполнитель».** Такое отношение наблюдается между отдельным этапом (функцией) процесса и работником, который его выполняет;
- **отношение «причина — следствие»**, а также отношения хронологического порядка показывают взаимосвязи между элементами процессов.

Последние три вида отношений наиболее применимы в моделях бизнес-процессов предприятий и используются в диаграммах процессов.

Наиболее распространенным способом изображения модели структуры являются **структурные схемы**. В таких схемах элементы системы графически изображаются в виде прямоугольников, точек, других обозначений; отношения между ними — с помощью ребер или ориентированных дуг. Примером структурной схемы с отображением различных отношений между элементами системы может быть рис. 1.3. Структурные схемы систем, которые отображают все их элементы, все связи между ними, а также входы и выходы, называют еще моделями типа **«белый (прозрачный) ящик»**. Естественно предположить, что полнота и сложность модели типа «белый ящик», так же как и любых других моделей, зависит от целей моделирования.

Можно сформулировать некоторые **рекомендации при построении структурных схем** в процессе анализа и синтеза систем.

При разработке структурной схемы необходимо руководствоваться основным правилом структурного системного анализа — поэтапно детализировать систему, начиная с общего обзора и продолжая рассмотрением ее отдельных частей. Такая последовательность этапов даст в результате иерархический набор структурных схем, где схемы верхнего уровня уточняются схемами нижнего уровня. При этом необходимо ограничивать на каждой структурной схеме количество воспроизводимых элементов (рекомендуется не более 5–7 элементов на одной схеме).

Не стоит перегружать структурную схему текстовыми описаниями и дополнениями. Необходимые текстовые пояснения и второстепенные детали, не нашедшие места на схеме, целесообразно выносить в приложения к ней.

Необходимо достаточно четко представлять цель структурного моделирования и в связи с этим определять те отношения между элементами, которые должны быть положены в основу структурной схемы. В зависимости от цели и принятой точки зрения можно получить разные структурные схемы одной и той же системы.

В случае сложной системы перед построением структурной схемы целесообразно выделить точку зрения, исходя из которой она будет строиться. Так, с точки зрения директора по ИТ структура предприятия может существенно отличаться от той, которая будет построена с точки зрения коммерческого директора. Разделение по точкам зрения (аспектам) позволяет включить в структурную схему только те элементы и связи, которые важны именно для данной точки зрения и данной решаемой задачи структурного моделирования.

Резюме

1. Решение многих научно-исследовательских и практических задач невозможно без замены реальных систем их моделями. Модель — это материальная или идеальная система, которая в определенных условиях может заменить исходную систему (объект-оригинал) и служит для получения информации об объекте-оригинале и (или) других объектах, с ним связанных. Исследование систем на их моделях называется моделированием.

2. Важное значение для системного анализа имеют математические модели. Именно эти модели становятся основой для дальнейшего компьютерного исследования в поисках альтернативных вариантов систем. Суще-

ствуют специальные виды математических моделей — оптимизационные модели, которые отражают зависимость критерия оптимизации от параметров, характеризующих систему. Такие модели позволяют не только формализовать и объективно обосновать эффективность разных вариантов решений, но и автоматизировать поиск оптимальных вариантов с помощью специальных программных средств.

3. Для поиска рациональных вариантов систем используется также компьютерное моделирование на базе имитации. Имитационная модель кроме математических формул может содержать запись различных условий и правил, которые позволяют имитировать события и реакцию на них в моделируемой системе. Поиск вариантов осуществляется путем многократного прогона компьютерной модели с разными вариантами внешних условий и (или) управляющих воздействий, оценки данных о поведении системы и выбора исследователем лучшего варианта.

4. Кроме математических моделей, в системном анализе широко используются модели, отражающие структуры систем (структурные схемы, графы, сети и т. п.). К этому классу могут быть отнесены и те информационные модели «как есть», «как должно быть», которые строятся на разных этапах при обследовании бизнес-процессов и автоматизации предприятий.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение модели в научном исследовании.
2. Какие требования предъявляются к моделям?
3. Чем характерны предметно-математические модели?
4. Что из себя представляет математическая модель?
5. Для чего используются математические оптимизационные модели?
6. Чем отличаются имитационные модели?
7. Что такое модель типа «черный ящик»?
8. Для чего применяются графоаналитические модели?

Глава 5

ВВЕДЕНИЕ В МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

§ 1. Постановка задачи принятия решения

Роль и место задачи принятия решений (ЗПР) в теории систем и системном анализе показаны в гл. 3. В общем виде **постановка задачи принятия решения** включает следующую пару элементов [23]:

$$\langle X, \Omega \rangle,$$

где X — некоторое множество **альтернатив**, т. е. вариантов, из которых требуется сделать выбор; Ω — некоторый принцип оптимальности, критерий выбора, позволяющий сравнить альтернативы и выбрать из них наилучшую.

Заметим, что альтернатива будет наилучшей именно в смысле заданного критерия. Если принять другой критерий, то эта альтернатива, напротив, может быть далеко не самой лучшей. Обычно критерий отражает точку зрения лица, принимающего решение (ЛПР). Пусть, например, X есть множество экзаменационных билетов. Положим, что ЛПР-студент обладает свободой выбора, т. е. может сравнить и выбрать любой билет x — элемент из множества X . Можно предположить, что оптимальной альтернативой x^* для данного ЛПР будет та, которая удовлетворяет критерию минимизации сложности вопросов в билете:

$$x^*: F(x^*) \rightarrow \min,$$

где $F(\cdot)$ — некоторый показатель, характеризующий уровень сложности вопроса. В соответствии с принятым критерием выбирается тот билет x^* , значение $F(x^*)$ для которого меньше, чем значение $F(x)$ для всех остальных билетов $x \in X$.

Для ЛПР-преподавателя критерием выбора будет некоторый другой. В простом случае можно положить, что желания данного ЛПР противоположны желаниям студента и выражаются критерием $F(x^*) \rightarrow \max$ (такая постановка задачи сугубо иллюстративна и не претендует на отражение истинных целей преподавателя на экзамене). Очевидно, что новое ЛПР выберет по этому критерию для студента совершенно другой билет.

Отметим, что в любом случае предполагается наличие самой возможности выбора. Эта **возможность выбора** является необходимым условием существования задачи принятия решения, т. е. в постановке задачи предполагается, что, во-первых, X содержит более одного элемента; во-вторых, любые из этих элементов доступны для выбора.

В широком смысле слова **процесс принятия решения** включает не только этап выбора, но и такие этапы, как:

- разработка альтернатив (определение множества X);
- выбор показателей для отражения наиболее важных свойств альтернатив и формирование критерия выбора альтернатив;
- анализ и сравнение альтернатив по данному критерию;
- собственно принятие решения (выбор альтернативы);
- реализация принятого решения и контроль за исполнением решения.

Последний этап наиболее характерен для процессов принятия решений в системах управления предприятиями, где исполнение решений возлагается на соответствующих работников и является достаточно продолжительным и трудоемким самостоятельным процессом.

В зависимости от того, каким образом заданы элементы ЗПР, насколько формализованы условия, может быть введена классификация этих задач. При этом для каждого класса разрабатываются и применяются свои методы решения.

Можно определить следующие классы:

1. *Задача выбора.* Множество альтернатив X задано явно, т. е. путем перечисления альтернатив, а Ω задан в виде критерия, позволяющего сравнить альтернативы из X между собой. Критерий может быть простым или сложным, т. е. состоять из нескольких более простых критериев.

2. *Задача оптимизации.* Множество X задано математически (неявно), с помощью набора условий, ограничивающих подмножество допустимых решений в пространстве параметров; Ω , т. е. критерий выбора (критерий оптимизации) тоже задается математически — в виде целевой функции, которая показывает зависимость нужного свойства от сочетания параметров системы. Такая задача может быть записана в следующем виде (см. также разд. 4.4):

$$f = f(X) \rightarrow \max (\min) \tag{5.1}$$

$$g_j(X) \leq_{(\geq, =)} b_j, j = 1, 2, 3, \dots, m,$$

где $f(X)$ — целевая функция, показывающая зависимость критерия от значений параметров x_1, x_2, \dots ;

$g_j(X) \leq_{(\geq, =)} b_j$ — условия, которые ограничивают в пространстве параметров те точки $X = (x_1, x_2, \dots)$, которые являются допустимыми решениями.

Решение задачи приводит к нахождению такой точки $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots)$, которая лучше других по заданному критерию.

Простым примером ЗПР такого класса является задача линейного программирования, рассмотренная в гл. 4.

Очевидно, что в задачах 2-го класса возможных решений может быть гораздо больше, чем в задачах 1-го класса. На самом деле, если параметры x есть действительные числа, таких решений будет бесконечно много. В то же время в силу высокой степени формализации для поиска решения в этих задачах могут быть применены известные математические методы и алгоритмы, позволяющие автоматизировать процесс поиска X^* .

В системном анализе чаще встречаются более сложные задачи этого класса, в которых критерий не один, а несколько. Такие задачи называются многокритериальными.

3. *Общая задача принятия решений.* Здесь X и Ω не заданы ни путем перечисления, ни в виде математической формулы. В то же время имеются некоторые представления о допустимости и оптимальности решений. Причем эти представления являются, как правило, субъективными, отражают личный опыт и предпочтения различных участников процесса принятия решений. Задача требует определения или генерации множества X , а также определения (если это возможно) критериев выбора.

В системном анализе на разных этапах исследования приходится сталкиваться со всеми перечисленными классами задач. Так от задачи 3-го класса можно перейти к задаче выбора, если удастся перечислить альтернативы, т. е. определить X , а критерий выбора сформулировать в виде набора некоторых правил или формул. Если возможна строгая формализация в виде задачи оптимизации, то от общей задачи принятия решений происходит переход к задаче 2-го класса.

Здесь, однако, стоит отметить, что само по себе нахождение с помощью математических методов и компьютера оптимального X^* в системном анализе не является окончанием процесса принятия решения. Окончательный выбор — принять или не принять к исполнению найденное X^* — выполняет человек (коллектив людей), обладающий специальными полномочиями. Возможно, что предлагаемый результат покажется ему недостаточно подходящим, что приведет к новой формулировке усло-

вий, нахождению второго варианта X^* уже для этих новых условий. Таким образом, очевидно, что многое зависит именно от тех людей (специалистов, руководителей), которые готовят и осуществляют выбор и которые выступают участниками процесса принятия решений. Рассмотрим роли участников этого процесса.

В процессе принятия решения выделяются следующие основные участники:

- **лицо, принимающее решение** — человек или коллектив, обладающие возможностями и полномочиями для принятия решения, которые осуществляют выбор и несут ответственность за принятое решение. При принятии решения ЛПР руководствуется некоторыми целями как объективного, так и субъективного свойства. Последнее говорит о том, что ЛПР делает выбор с учетом собственных предпочтений и интересов;
- **эксперт** — человек, который является высококвалифицированным специалистом в данной предметной области, имеет опыт и положительные результаты практической деятельности, обладает возможностями и желанием, позволяющими провести информационную подготовку процесса принятия решения. В задачи такой подготовки входит, в частности, оценка характеристик и предварительный анализ альтернатив. Эта информация используется ЛПР при принятии решения. В число задач экспертов могут также входить формирование множества альтернатив, участие в выборе показателей и критериев, выработка аналитических рекомендаций и т. п. Отметим еще раз, что, несмотря на значительную роль экспертов в ЗПР, собственно выбор и ответственность за него остаются прерогативой ЛПР.

§ 2. Задачи оптимизации со многими критериями

Прежде чем перейти к рассмотрению задач выбора, остановимся подробнее на задачах оптимизации (2-й класс). Дело в том, что в практике системного анализа такие задачи встречаются, как правило, в том виде, когда критериев оптимизации не один, а больше. При этом традиционные математические методы, которые используются для обычных оптимизационных задач, в чистом виде здесь неприменимы.

Соответственно, неприменимы и программные средства, предназначенные для однокритериальной оптимизации (например, распространенный пакет MS Excel и его надстройка «Поиск решения»). В то же время существуют подходы, которые позволяют свести многокритериальные задачи к задачам оптимизации с одним критерием и последующего выбора.

Математическая постановка такой **задачи оптимизации со многими критериями** выглядит следующим образом (для облегчения восприятия положим, что везде ищется максимум целевой функции):

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_1(X) \rightarrow \max, \\
 f_2 &= f_2(X) \rightarrow \max, \\
 &\dots \\
 f_k &= f_k(X) \rightarrow \max, \\
 g_j(X) &\leq b_j, j = 1, 2, 3, \dots, m, \\
 f_k(X) &\geq f_k^c, k = 1, 2, 3, \dots, N.
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

В (5.2) имеется K целевых функций (критериев оптимизации), присутствуют ограничения вида $g_j(X) \leq b_j$. Они являются жесткими, функциональными ограничениями, нарушение которых недопустимо (например, не позволяют внешние условия, особенности конструкции, сама система) [36]. В то же время видно, что добавляются еще одни ограничения, вида $f_k(X) \leq f_k^c$. Они называются критериальными и отражают желаемые или требуемые значения показателей f_k . В общем случае предполагается, что пороги f_k^c не являются жесткими и могут быть изменены в некоторых пределах по требованию ЛПР [36].

Трудность многокритериальных задач проявляется на практике, т. к. критерии обычно противоречат друг другу — достижение лучшего результата по одному или некоторым из них приводит к ухудшению по другим критериям (вспомните известное противоречие между критериями «цена» и «качество продукции»). Требуется найти компромисс между критериями.

Существует несколько подходов, позволяющих формализовать этот компромисс и свести задачу к задаче оптимизации с одним критерием.

Выбор главного критерия с переводом остальных в ранг ограничений. При этом подходе задача (5.2) преобразуется в однокритериальную задачу следующего вида:

$$f = f(X) \rightarrow \max,$$

$$g_j(X) \leq b_j, j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (5.3)$$

$$f_k(X) \geq B_k, k = 1, 2, 3, \dots, N,$$

где f — критерий, выбранный главным;

B_k — некоторые вновь заданные ограничения, которые, вообще говоря, не равны f_k^c .

Особенностью данной задачи становится то, что при ее решении имеется возможность поэкспериментировать, задавая различные значения B_k (т. е. находя компромисс между своими желаниями и имеющимися ограничениями). Другая возможность для экспериментирования состоит в том, чтобы в качестве главного критерия выбрать другой f_k .

В результате процесс решения становится итеративным и будет проходить с участием ЛПР и, возможно, экспертов. В результате этого процесса может быть сгенерировано множество решений X_1^*, X_2^*, X_3^* и т. д. Таким образом, задача оптимизации, в конечном счете, будет сведена к задаче выбора. Окончательный выбор может быть сделан ЛПР на основе собственных предпочтений (в т. ч. на основе собственной интуиции, неформализованных представлений об оптимальности, отношении к риску и т. п.).

Упорядочение критериев по важности и последовательная оптимизация по каждому из критериев. Сначала решается задача оптимизации по первому критерию. Математически эта задача запишется аналогично (5.2), но критерий останется только один. В результате ее решения будет найдена пара: X_1^* — оптимальное решение и $f_1(X^*)$ — значение целевой функции при подстановке этого оптимального решения. Далее берется второй по важности критерий $f_2(X) \rightarrow \max$, а в систему ограничений добавляется новое:

$$f_1(X) \geq f_1(X^*) - d_1.$$

Последнее выражение означает, что для оптимизации по второму критерию будут отобраны только те решения, которые не просто удовлетворяют исходным ограничениям задачи, но и достаточно хороши по пер-

вому критерию, т. е. находятся в некоторой окрестности оптимума. Радиус этой окрестности задается здесь параметром d_1 , который можно регулировать в процессе поиска решения.

Далее процесс продолжается. Берется третий критерий, но множество допустимых решений сужается еще больше. Теперь здесь остаются только те, которые хороши и по первому критерию, и по второму. И так делается до последнего k -го критерия. На этом этапе находится искомое оптимальное решение.

Практически в этом процессе может получиться так, что уже на первом-втором шаге множество возможных решений окажется пустым. Именно поэтому приходится экспериментировать со значениями d_{1k} . Как и ранее, можно экспериментировать и с упорядочением критериев по важности, т. е. менять порядок подстановки критериев. Однако при этом стоит учитывать, насколько строго и с какой степенью уверенности выполнено ранжирование критериев по важности, чтобы не поставить во главу угла заведомо малозначимый критерий. Таким образом, данный подход также может привести к порождению некоторого множества решений и задаче дальнейшего выбора.

Замена множества частных критериев одним комплексным за счет свертки частных критериев. Этот подход основывается на количественной оценке взаимного приоритета между критериями. Для этого вводятся коэффициенты относительной важности критериев α . Вместо набора целевых функций возникает одна, и задача становится однокритериальной:

$$F = F(X) = \sum \alpha_k f_k(X) \rightarrow \max.$$

При таком подходе, кроме трудностей в определении коэффициентов α , необходимо учесть еще одно требование: критерии должны быть соизмеримы (единые величины измерения и шкалы). Последнее может быть достигнуто путем нормирования.

Применение комплексного критерия достаточно просто реализуется в многокритериальных задачах линейного программирования. В этом случае можно прийти к новой линейной задаче, для решения которой не требуются особые методы.

Например, пусть в исходной задаче есть два критерия f_1 и f_2 , и пространство параметров имеет две координаты x_1, x_2 . Пусть ставятся следующие две цели оптимизации при некотором наборе ограничений:

$$f_1 = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 \rightarrow \max,$$

$$f_2 = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 \rightarrow \max.$$

Введем коэффициенты относительной важности и преобразуем задачу в однокритериальную:

$$F = \alpha_1 c_{11}x_1 + \alpha_1 c_{12}x_2 + \alpha_2 c_{21}x_1 + \alpha_2 c_{22}x_2 \rightarrow \max$$

или

$$F = (\alpha_1 c_{11} + \alpha_2 c_{21})x_1 + (\alpha_1 c_{12} + \alpha_2 c_{22})x_2 \rightarrow \max.$$

Учитывая, что все коэффициенты есть постоянные величины, можем переписать в новом виде:

$$F = d_1 x_1 + d_2 x_2 \rightarrow \max.$$

Таким образом, видно, что многокритериальная задача линейного программирования с набором постоянных множителей c_i может быть преобразована в однокритериальную задачу линейного программирования с новыми множителями, в которых учитываются веса относительной важности критериев.

Если задача многокритериальной оптимизации не сводится к задаче оптимизации с одним критерием (например, когда нет никакой информации о взаимном приоритете критериев), то формулируется и решается **задача векторной оптимизации**. В задаче векторной оптимизации все критерии рассматриваются одновременно, т. е. как один набор — вектор критериев:

$$(f_1(X), f_2(X), \dots, f_N(X)) \rightarrow \max,$$

что может интерпретироваться как задача поиска решения, оптимального сразу по всем критериям.

На практике такого решения, как правило, не существует. Однако можно отыскать решения, которые по всем этим критериям будут лучше других. Такое множество решений называется эффективным (другие названия — множество Парето-оптимальных решений, множество недоминируемых решений) [26].

Эффективное решение — это решение, которое по всем критериям лучше других решений, не входящих во множество эффективных. Более слабое требование: эффективное решение хотя бы по одному критерию должно быть лучше неэффективных при том условии, что по всем остальным критериям — не хуже (равно) их.

Сами элементы множества эффективных решений между собой несравнимы. Это означает, что если одно решение лучше другого по критерию f_i , то оно обязательно будет хуже по каким-то другим критериям f_j .

Таким образом, любая попытка улучшить эффективное решение по одному свойству приводит к ухудшению по какому-то другому.

Решение задачи векторной оптимизации основывается на таком подходе [26]: сначала генерируется некоторое исходное множество решений X . Потом эти решения сравниваются между собой, и из множества X отсеиваются те решения, которые хотя бы по одному критерию оказались хуже других. В итоге множество X преобразуется во множество эффективных (недоминируемых) решений X^P . Далее ЛПР совместно с экспертами решает задачу выбора. Для этого, возможно, потребуются привлечение дополнительной информации, введение дополнительных ограничений и характеристик и новый цикл преобразований с целью уменьшения мощности множества эффективных решений: $X^P \rightarrow X^{P2}$, $|X^P| \gg |X^{P2}|$.

Для генерации множества решений в пространстве параметров, когда исходное множество допустимых решений задано набором функций-ограничений, можно воспользоваться методами случайного поиска, методами поисковой оптимизации (см., напр., [26, 36]).

Можно также воспользоваться способом генерации решений на основе однокритериальной задачи, когда остальные критерии переводятся в ранг ограничений. При этом получаем набор решений, каждому из которых соответствует свой набор значений оцениваемых показателей. Причем один из этих показателей оптимален, остальные отвечают желаемым порогам (критериальным ограничениям):

$$X_1: (f_1^*, f_2, \dots, f_k),$$

$$X_2: (f_1, f_2^*, \dots, f_k),$$

...

$$X_N: (f_1, f_2, \dots, f_N^*).$$

Изменяя критериальные ограничения, можно повторить цикл решения задачи. Таким образом может быть сформировано исходное множество X . На следующем этапе выполняется сравнение каждого решения с остальными и отсеиваются те из них, которые являются неэффективными. В результате получается искомое множество X^P .

Трудность может возникнуть, если функции-ограничения в пространстве параметров задают допустимую область, которая не пересекается с областью допустимости, задаваемой критериальными ограничениями. В этом случае решения существовать не будет. Целесообразно применять итеративную процедуру, в ходе которой происходит постепенное сужение критериальных ограничений (изменение желаемых значений критериев).

Подводя итоги рассмотрения задач многокритериальной оптимизации, отметим следующее:

- при решении проблем в системном анализе, даже при возможности математической формализации, задача оптимизации, скорее всего, будет сформулирована как задача многокритериальной оптимизации;
- поиск решений в многокритериальных задачах является многошаговым процессом и предполагает активное участие заинтересованных лиц — экспертов, ЛПР. Реализация такого поиска возможна с помощью специальных программных комплексов, позволяющих искать и сравнивать варианты решений при разных гипотезах и допущениях о важности критериев, желаемых значений целевых показателей;
- результаты многокритериальной оптимизации приводят к дальнейшей задаче выбора. В простейшем случае такой выбор характеризуется двумя альтернативами: принять или не принять решение к исполнению. В более сложных случаях оптимизация порождает явно заданное множество решений X , для выбора из которого требуется применение собственных процедур и способов.

§ 3. Задача выбора

В зависимости от того, какая информация об элементах ЗПР имеется и каким образом она задана, в каких условиях принимается и реализуется решение, определяют различные подходы и методы к принятию решений. Подробно с ними можно ознакомиться в источниках, которые приведены в списке литературы. Здесь будем рассматривать задачу выбора в рамках того подхода, который предполагает возможность количественной оценки альтернатив и их полезности для ЛПР, на основании чего и осуществляется выбор. Будем полагать, что:

- множество альтернатив X задается явно путем их перечисления, т. е. альтернативы уже известны;
- для характеристики альтернатив можно ввести один или более показателей, отражающих различные свойства альтернатив, которые представляют интерес с точки зрения ЛПР. Будем обозначать этот набор показателей как $F = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_N)$, где N — число показателей;
- значение каждого показателя f для каждой альтернативы x может быть выражено количественно и обозначено как $f(x)$ (шкалы для оценки показателей будут рассмотрены ниже);
- показатели в ЗПР являются сонаправленными. Это означает, что для всех показателей данной задачи соблюдается условие: чем больше $f(x)$, тем полезнее для ЛПР альтернатива x ; или же для всех — чем меньше $f(x)$, тем полезнее для ЛПР альтернатива x .

Отметим, что в литературе часто вместо термина «показатель» для характеристик свойств альтернатив используют термин «критерий». Не отрицая такой трактовки, далее будем использовать термин «показатель», а под критерием, как и раньше, будем понимать некоторое правило, условие выбора, которое отражает цель, интересы и предпочтения ЛПР. Например, как было показано выше: $F(x)$ — показатель (точнее, оценка альтернативы x по этому показателю); $F(x) \rightarrow \min$ — цель ЛПР, выраженная с помощью критерия минимизации.

В зависимости от числа показателей ЗПР делятся на **простые** и **сложные**. К простым относятся те задачи, в которых для характеристики альтернатив используется один показатель F . В этом случае из множества X , очевидно, выбирается та альтернатива x^* , значение показателя которой является наибольшим (наименьшим) по сравнению с таковым у других альтернатив (как в приведенном выше примере с билетами). Когда по-

казателей более одного, задача называется сложной. Если все показатели могут быть улучшены одновременно, то сложная задача вырождается в простую.

Сложнее дело обстоит, когда показатели не улучшаются одновременно и, более того, улучшение одного может быть связано с ухудшением другого. Например, покупатель, как правило, желает одновременно купить товар по наименьшей цене (чем меньше значение показателя цены, тем он лучше для покупателя) и с наибольшим качеством (чем выше значение показателя качества, тем он лучше для покупателя). Практически оказывается, что улучшение товара по цене сопровождается ухудшением по качеству. В таких случаях говорят о задаче принятия решений в условиях многокритериальности. При этом подразумевается, что имеется несколько целей — и, следовательно, критериев, — каждая из которых состоит в улучшении «своего» показателя.

В практических задачах выбора показатели могут измеряться не только разными единицами измерения, но и на разных шкалах. Далее дается описание основных типов шкал измерения.

§ 4. Типы шкал для характеристики и оценки альтернатив

Теория измерения разработала широкий арсенал разнообразных по своим свойствам шкал для измерения значений различных параметров и характеристики объектов. Эти шкалы позволяют в наибольшей степени обеспечить требование высокой информативности при решении задач выбора лучшей альтернативы и одновременно добиться достаточной простоты и экономии при измерениях.

Шкалы измерений используются как для выражения значений конкретных показателей (критериев), так и для интегральной характеристики альтернатив.

В общем виде различают два основных типа шкал измерения — количественные и качественные (рис. 5.1) [27].

Если целью измерения является разделить альтернативы (или другие объекты) на классы по признакам типа «да — нет», «пригодный — непригодный», «плохой — удовлетворительный — хороший» и т. п., используются так называемые **номинальные**, или **классификационные шкалы**. Отметим, что, несмотря на такую «словесную» формулировку классов, они могут быть пронумерованы. Например, шкале «плохой — удовлетворитель-

ный — хороший» можно сопоставить множество чисел $\{1, 2, 3\}$ и считать, что оценка «хороших» альтернатив равна 3, а «плохих» — 1. Недостатком такой шкалы будет то, что она не предназначена для измерения расстояний между альтернативами, т. е. в случае с «плохими» и «хорошими» альтернативами нельзя сказать, насколько одни хуже или лучше других.

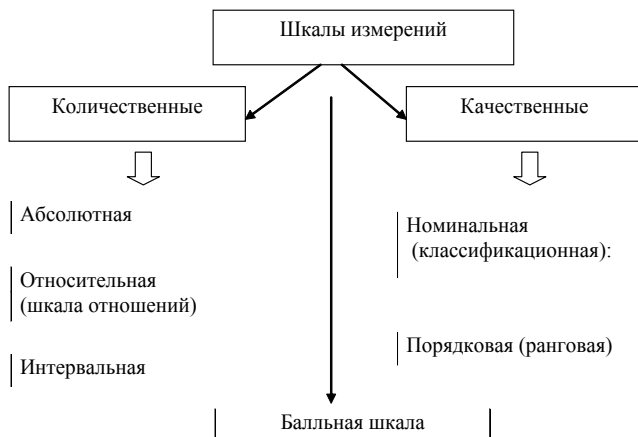


Рис. 5.1. Шкалы измерений для оценки показателей и характеристики альтернатив

При использовании **ранговой шкалы** альтернативы упорядочиваются по некоторому признаку. Номер альтернативы в упорядоченной последовательности называется ее рангом. Каждой альтернативе присваивается ранг. Обычно считается лучшей та альтернатива, ранг у которой меньше (это **прямая** ранговая шкала). Однако по договоренности можно условиться считать лучшей ту альтернативу, у которой ранг выше (**обратная** ранговая шкала). Как видно, ранг является некоторой интегральной характеристикой альтернативы. Вместо численной характеристики-ранга шкала может состоять из упорядоченных лингвистических значений, например «низкий — средний — высокий». Такая шкала называется **порядковой**.

При оценке значений отдельных характеристик альтернатив, т. е. показателей, чаще стараются использовать не качественные, а количественные шкалы. Наиболее обычной является **абсолютная** шкала. Здесь значение показателя выражается, как правило, в некоторых единицах измерения. Например, показатель временных затрат может принимать на этой шкале

значения 10, 100, 400 и т. д. и измеряться в часах, показатель стоимости — в рублях или другой валюте и т. п. Абсолютная шкала позволяет сравнивать различные значения показателей между собой и определять расстояния между ними.

Определенным неудобством абсолютной шкалы является наличие единиц измерения. Покажем это на примере. Пусть предлагаются два варианта выполнения мероприятия, т. е. две альтернативы X_1 и X_2 , которые характеризуются двумя показателями: стоимости мероприятия f_1 (единица измерения — рубли) и показателем временных затрат f_2 (единица измерения — часы). Для первой альтернативы имеем оценки — $f_1(X_1) = 1000$ р., $f_2(X_1) = 8$ ч; для второй альтернативы — $f_1(X_2) = 800$ р., $f_2(X_2) = 10$ ч. Сравнить альтернативы по этим значениям и сказать, какая лучше, мы не можем, не имея критерия выбора. Для сравнения альтернатив можно было бы использовать комплексный показатель F , такой, что $F(X) = f_1(X) + f_2(X)$. Тогда можно было бы сказать, что лучше та альтернатива, у которой значение F меньше. Однако простое сложение «рублей с часами» будет, очевидно, неправильным. Для преодоления трудности необходимо избавиться от единиц измерения. Сделать это позволяет переход к шкале отношений.

На **шкале отношений** (относительной шкале) значения показателей измеряются в относительных (безразмерных) единицах и характеризуют их сравнительные оценки. Для перехода от абсолютной к относительной шкале применяется **нормирование** показателей. Распространенным способом является соотнесение измеренного значения показателя f с некоторым эталонным, нормативным или другим специальным значением f_e . Если сравнивается множество альтернатив, в качестве f_e может выступать значение показателя той альтернативы, для которой он принимает самое большое (самое маленькое) значение по сравнению с другими на абсолютной шкале. Продолжая последний пример, положим, что есть некоторая альтернатива X_e , которую можно считать эталоном «плохих альтернатив», и известно, что $f_1(X_e) = 2000$ р., $f_2(X_e) = 40$ ч. Тогда переход к оценкам показателей на относительной шкале можно выполнить по следующим формулам нормирования:

$$f_1(X_1)^н = f_1(X_1) / f_1(X_e) = 1000 \text{ р.} / 2000 \text{ р.} = 0,5;$$

$$f_2(X_1)^н = f_2(X_1) / f_2(X_e) = 8 \text{ ч} / 40 \text{ ч} = 0,2,$$

где $f_2(X_1)^н$ — нормированное значение показателя.

Для второй альтернативы имеем:

$$f_1(X_2)^n = f_1(X_2) / f_1(X_e) = 800 \text{ р.} / 2000 \text{ р.} = 0,4;$$

$$f_2(X_2)^n = f_2(X_2) / f_2(X_e) = 10 \text{ ч} / 40 \text{ ч} = 0,25.$$

Теперь, имея безразмерные величины, вычислим комплексный показатель F для обеих альтернатив. Вычислять будем как среднее арифметическое значение двух частных нормированных показателей:

$$F(X_1) = 0,5 (f_1(X_1)^n + f_2(X_1)^n) = 0,5 (0,5 + 0,2) = 0,35;$$

$$F(X_2) = 0,5 (f_1(X_2)^n + f_2(X_2)^n) = 0,5 (0,4 + 0,25) = 0,325.$$

Если положить, что критерием выбора является критерий минимизации затрат, т. е. $F(X) \rightarrow \min$, то лучшей будет альтернатива X_2 .

Интервальная шкала, как и абсолютная или относительная, обладает также характеристикой расстояния между отдельными градациями шкалы. Это расстояние между отдельными градациями задается некоторым интервалом. Обычно принимается, что интервал как единица измерения на шкале остается неизменным. Шкальные значения можно складывать.

Например, измерять экономичность модели какого-то технического объекта можно по шкале, имеющей градации [27]:

- чрезвычайно экономичен;
- очень экономичен;
- в известной мере экономичен;
- в известной мере неэкономичен;
- очень неэкономичен;
- чрезвычайно неэкономичен.

Между этими градациями условно задано расстояние — один интервал (или другое количество равных интервалов). Поэтому можно не только дать характеристику объекта на данной шкале, но и сказать, насколько он далеко от другого объекта (на каком числе интервалов).

Таким образом, интервальная шкала не только содержит всю информацию, заложенную в порядковой, но также позволяет найти различия между объектами.

Общеизвестным примером из повседневной жизни служит шкала температуры [27]. Мы знаем, что температура может измеряться в разных интервалах и с разными точками отсчета. Существуют преобразования перехода от одной шкалы температуры к другой эквивалентной шкале.

Так, переход от шкалы Цельсия к шкале Фаренгейта задается линейным преобразованием шкальных значений [4, 27]:

$$t^{\circ}\text{F} = 1,8 t^{\circ}\text{C} + 32.$$

Применение интервальной шкалы позволяет использовать еще один способ нормирования показателей — относительно границ заданного интервала:

$$f^n = (f - f_{\min}) / (f_{\max} - f_{\min}),$$

где f_{\max} , f_{\min} — границы некоторого интервала, например, наибольшее и наименьшее значения показателя для некоторого множества объектов.

При оценке и сравнении альтернатив с помощью экспертов широкое распространение находит **балльная шкала**. На этой шкале показателям или всей альтернативе присваиваются некоторые баллы — оценки, которые выставляют эксперты. Например, эксперт может характеризовать альтернативу «план реорганизации предприятия» с точки зрения (по показателю) его реальной выполнимости. Для этого можно использовать 10-балльную шкалу, где 10 баллов будут означать наилучшую, а 1 — наихудшую оценку, которая соответствует мнению эксперта о том, что план является невыполнимым.

Считается, что балльная шкала занимает промежуточное положение между качественными и количественными шкалами. Чем меньше градаций у балльной шкалы и чем проще правила начисления баллов, тем ближе такие шкалы к качественным, ранговым. Наоборот, чем число градаций больше и сложнее правила начисления баллов, тем балльная шкала ближе по своим свойствам и возможностям к количественной, интервальной.

§ 5. Критерии и способы принятия решений при оценке полезности альтернатив

В табл. 5.1 приведены численные значения четырех показателей для трех альтернатив — X_1 , X_2 , X_3 . Для упрощения изложения материала будем полагать, что значения показателей нормированы, т. е. выражены на шкале отношений. Также положим, что для всех показателей соблюдается требование «чем больше значение показателя, тем лучше (полезнее) альтернатива»; высшее значение показателя равно 1, низшее — 0. Отметим, что если для части показателей это не так, то к выполнению данного требования можно прийти, взяв вместо значения f значение $(1 - f)$.

Характеристики альтернатив (для примеров вычислений)

Альтернатива	Показатель			
	f_1	f_2	f_3	f_4
X_1	0,8	0,6	0,4	0,8
X_2	0,7	0,5	0,9	0,3
X_3	0,9	0,4	0,35	0,75

Используя относительную шкалу, мы абстрагируемся от физического смысла показателей, избавляемся от единиц измерения и потому можем соединять их в некоторые комплексные критерии. Этого упрощения также можно добиться при использовании балльной шкалы.

Рассмотрим некоторые часто встречающиеся критерии выбора в ЗПР при известных характеристиках альтернатив.

1. Критерий среднего (Лапласа):

$$F_{\text{cp}}(X) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_i(X) \rightarrow \max,$$

где M — количество критериев.

В соответствии с этим критерием лучшей будет та альтернатива, средняя арифметическая сумма оценок показателей которой будет наибольшей. В табл. 5.1 $F_{\text{cp}}(X_1) = 0,65$, $F_{\text{cp}}(X_2) = 0,6$, $F_{\text{cp}}(X_3) = 0,6$, значит, должна быть выбрана альтернатива X_1 .

2. Критерий Вальда:

$$F_{\text{в}}(X) = \min_i \{f_i(X)\} \rightarrow \max,$$

где i — индекс показателя, значит, выбор минимума выполняется среди показателей.

В соответствии с этим критерием выбирается та альтернатива, наихудший показатель которой имеет наилучшее значение по сравнению с наихудшими показателями других альтернатив (см. также критерий максимина при выборе в условиях неопределенности). В табл. 5.1 $F_{\text{в}}(X_1) = 0,4$, $F_{\text{в}}(X_2) = 0,3$, $F_{\text{в}}(X_3) = 0,35$, и по данному критерию должна быть выбрана альтернатива X_1 .

Критерий Вальда отражает осторожный взгляд, рассчитан на наихудшие значения и не учитывает других показателей. Более гибким является следующий критерий.

3. Критерий Гурвица (компромисса):

$$F_r(X) = \left\{ \beta \min_i f_i(X) + (1 - \beta) \max_i f_i(X) \right\} \rightarrow \max,$$

где β — коэффициент, значение которого выбирают на отрезке $[0; 1]$. При $\beta = 1$ данный критерий сводится к предыдущему.

Зададим $\beta = 0,5$. Тогда для табличных значений имеем: $F_r(X_1) = 0,6$; $F_r(X_2) = 0,6$; $F_r(X_3) = 0,55$. Видно, что по этому критерию две альтернативы (первая и вторая) неразличимы. Для окончательного выбора необходимо привлечение дополнительной информации или сравнение с результатами выбора по другим критериям.

4. Критерий взвешенного среднего (аддитивной свертки):

$$F_\Sigma(X) = \sum_{i=1}^M \alpha_i f_i(X) \rightarrow \max,$$

где α_i — коэффициент относительной значимости i -го показателя в интегральной оценке полезности альтернативы,

$$\alpha_i \in [0; 1], \sum \alpha_i = 1.$$

Данный способ выбора альтернативы является одним из наиболее распространенных. Выбор осуществляется по наилучшему значению комплексного показателя F_Σ , который представляет собой интегральную оценку полезности альтернативы.

Вернемся к примеру с альтернативами X_1 и X_2 в предыдущем пункте. Пусть эксперты совместно с ЛПР определили относительную важность показателей стоимости и показателя временных затрат. Положим, что для ЛПР значительно более важным является сокращение временных затрат на выполнение мероприятия, и он согласен сократить эти затраты за счет увеличения стоимости. Тогда могут быть выбраны такие весовые коэффициенты: $\alpha_1 = 0,2$, $\alpha_2 = 0,8$ (заметим, что в сумме они дают единицу). Разница между коэффициентами покажет, насколько один из показателей важнее другого. С учетом этого имеем следующие результаты:

$$F(X_1) = 0,2f_1(X_1)^н + 0,8f_2(X_1)^н = 0,2 \times 0,5 + 0,8 \times 0,2 = 0,26,$$

$$F(X_2) = 0,2f_1(X_2)^n + 0,8f_2(X_2)^n = 0,2 \times 0,4 + 0,8 \times 0,25 = 0,28,$$

и по критерию минимизации затрат необходимо выбрать альтернативу X_1 (вспомним, что в случае когда показатели были равнозначны и мы применяли среднее арифметическое, лучшей была признана альтернатива X_2).

5. Выбор по главному критерию

$$F_{\text{гл}}(X) = f^*(X) \rightarrow \max,$$

где $f^*(X)$ — некоторый наиболее важный показатель, значение которого требуется оптимизировать при выборе альтернатив.

Выбор только по одному главному показателю оставляет без внимания другие свойства альтернатив, хотя они могут иметь большое значение. Выбор только по одному показателю делается при управлении в реальном масштабе времени и при дефиците времени. Так, в транспортных системах, безусловно, важным является показатель безопасности. В реальном времени, когда имеется угроза аварии или катастрофы, для ее предотвращения оператор может использовать любые методы, которые могут оказаться крайне невыгодными по другим показателям (например, экономическим).

Практически более значимым является выбор по главному критерию при выполнении ограничений:

$$F_{\text{гл}}(X) = f^*(X) \rightarrow \max,$$

$$\text{при } f_i(X) \geq f_{i\text{пор}},$$

где $f_{i\text{пор}}$ — допустимое пороговое значение для i -го показателя.

По данному критерию выбор по одному показателю выполняется из подмножества альтернатив, оценки показателей которых не хуже, чем принятые пороги. Пусть для данных табл. 5.1 установлен единый порог для всех показателей $f_{\text{пор}} = 0,35$, а главным является показатель f_1 . Тогда выбор необходимо делать среди альтернатив X_1 и X_3 (альтернатива X_2 не удовлетворяет ограничению). По табличным данным имеем $F_{\text{гл}}(X_1) = 0,8$; $F_{\text{гл}}(X_2) = 0,9$, и лучшей по выбранному критерию будет альтернатива X_2 .

6. Выбор по упорядоченным по важности критериям.

В этом случае показатели упорядочиваются по важности. Далее последовательно решается задача выбора по главному критерию. Сначала выбор делается из исходного множества X по наиболее важному показателю, потом из локализованного множества X^1 — по второму по важно-

сти показателю, и т. д. В результате последовательно сужается множество альтернатив, и последнее X^M должно содержать наилучшую альтернативу (в идеале только ее одну):

$$X \supset X^1 \supset X^2 \supset \dots \supset X^M,$$

где M — число показателей.

Для того чтобы на каждом шаге в результате выбора по главному критерию во множество альтернатив отбиралась не одна, а несколько альтернатив, условие отбора обычно ослабляют. Например, отбираются все альтернативы X , для которых выполняется $|F_{\text{гл}}(X^*) - F_{\text{гл}}(X)| < q$, где q — некоторое достаточно малое число.

7. Выбор по критерию «эффект/затраты».

По этому критерию для оценки альтернатив вводятся две интегральных характеристики. Одна показывает, сколько затрат повлечет за собой выбор альтернативы, вторая — какой эффект будет получен в результате воплощения данной альтернативы в жизнь. Обозначим комплексный показатель затрат как $F_{\text{затр}}$, показатель эффекта — $F_{\text{эфф}}$. Возможно, что эти комплексные показатели будут рассчитаны на основе соответствующих частных показателей, которые будут предварительно разбиты на две группы — показатели затрат и показатели эффекта (комплексирование может быть выполнено, например, с помощью взвешенного суммирования или другим приведенным выше способом). Тогда критерий выбора можно записать как соотношение:

$$F_{\text{эфф-затр}}(X) = F_{\text{эфф}}(X) / F_{\text{затр}}(X) \rightarrow \max.$$

При выборе по данному критерию целесообразно учитывать и абсолютные значения показателей затрат и эффекта, т. к. одно и то же относительное значение $F_{\text{эфф-затр}}(X)$ может быть получено при разных $F_{\text{эфф}}(X)$ и $F_{\text{затр}}(X)$.

§ 6. Принятие решений в условиях риска и неопределенности

Выше мы рассматривали принятие решений с учетом оценки полезности альтернатив. Во многих практических задачах полезность альтернативы или отдельные оценки по тем или иным показателям будут зависеть от некоторых условий, в которых принятое решение реализуется. Так, выбирая тот или иной план выпуска продукции по критерию максимизации

прибыли, ЛПР рассчитывает на некоторое состояние спроса, а также другие условия, создающие определенную ситуацию, в которой будет реализовываться решение. Изменение этих условий может привести к результатам, которые будут в корне отличаться от ожидаемых.

Говорят, что каждому решению соответствует некоторый исход. Исход определяется парой «альтернатива — условия реализации (ситуация)». Если возможны разные исходы и известны вероятности их возникновения, то говорят о **задаче принятия решений в условиях риска**; если вероятности исходов неизвестны, то говорят о задаче принятия решения **в условиях неопределенности**.

Задачи принятия решений в условиях риска и неопределенности можно интерпретировать как игру двух игроков, одним из которых является ЛПР, вторым — «природа». Первый игрок предпринимает шаги, т. е. выбирает альтернативы; второй игрок, «природа», ведет себя безразлично к действиям первого, но может находиться в одном из нескольких состояний (эти состояния и моделируют те ситуации, которые будут сопровождать реализацию альтернатив). Первый игрок должен так выбирать альтернативы, чтобы максимизировать свой выигрыш, который является в общем случае функцией двух переменных — альтернативы и состояния «природы».

Мощным инструментом решения подобных задач служит интенсивно развивающаяся в последние десятилетия научная дисциплина — теория игр (см., напр., [16]). В играх с «природой» при принятии решения ЛПР обладает следующей информацией:

- набор возможных состояний «природы» $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_R$;
- множество X возможных действий игрока — ЛПР, которые есть альтернативы. В терминах теории игр такие возможные действия игрока называются стратегиями;
- множество исходов и оценки исходов a_{ij} , где i — индекс альтернативы, j — индекс состояния «природы». Исход i -й альтернативы с его оценкой зависит от j -го состояния «природы».

В ЗПР в условиях риска имеется еще информация о распределении вероятностей состояний «природы» $p(\sigma_j)$. Информация фиксируется с помощью специальных таблиц, которые называются матрицами игры. В таблице на пересечении строк и столбцов устанавливаются оценки исходов. Эти оценки, как и ранее, могут быть измерены в разных шкалах (относительной, абсолютной, балльной). Пример матрицы игры показан в табл. 5.2, где предполагается, что оценки исходов получены в относительной шкале.

Матрица игры (для иллюстрации ЗПР в условиях неопределенности)

Альтернативы — стратегии ЛПР	Состояния «природы»			
	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
X_1	$a_{11} = 0,6$	0,6	0,4	$a_{14} = 0,6$
X_2	0,7	0,5	0,9	0,3
X_3	$a_{31} = 0,9$	0,8	0,35	$a_{34} = 0,75$

В теории игр основным критерием выбора является критерий максимина (этот критерий есть, по существу, известный нам уже критерий Вальда):

$$X^*: \max_i \min_j \{a_{ij}\}.$$

Он предполагает выбор той альтернативы, которая в самом неблагоприятном случае даст оценку исхода — выигрыш ЛПР больше, чем если бы он выбрал другие альтернативы. Выбор по этому критерию еще называют принятием решения в расчете на гарантированный результат. Так, по табличным данным, альтернатива X_1 даже в самом неблагоприятном случае обеспечит гарантированный выигрыш $a_{13} = 0,4$ (другие альтернативы — только 0,3 или 0,35) и потому является лучшей для принятия решения в условиях неопределенности.

Кроме критерия максимина (критерия Вальда) применяется также критерий Гурвица, согласно которому лучшей следует считать ту стратегию (альтернативу), которая приводит к наибольшему значению линейной свертки наихудшего и наилучшего результата для каждой стратегии.

В условиях риска известны вероятности состояний «природы» (и, соответственно, исходов). В этом случае может быть использован критерий выбора, который называется критерием математического ожидания (формально сходен с упомянутым выше критерием взвешенной суммы):

$$X^*: \max_i \sum_{j=1}^N p(\sigma_j) a_{ij},$$

где выбирается та альтернатива X^* , математическое ожидание выигрыша которой с учетом всех возможных состояний природы и вероятностей их возникновения будет наибольшим.

§ 7. Экспертиза как метод получения информации в задачах системного анализа

Во многих задачах системного анализа непосредственное измерение или расчет по формулам показателей для характеристики альтернатив невозможны или крайне затруднительны. Это, например, характерно для задач анализа, управления или совершенствования сложных организационно-экономических систем. Часто сам характер показателя таков, что предполагает не просто измерение, а выражение некоторого мнения специалиста. Например, сравнивая двух изготовителей продукции, из которых выбирается возможный поставщик, можно ввести общий показатель надежности поставщика. Оценку этому показателю может дать опытный специалист, хорошо знающий работу данного изготовителя. Высказывая свое мнение, специалист может использовать известные нам шкалы измерений (относительную, балльную, ранговую), а ЛПР, сравнивая полученные оценки, может сделать обоснованный выбор поставщика по критерию его надежности.

В ЗПР таким специалистом, мнение которого может быть использовано для оценки характеристик альтернатив, является **эксперт**. В приведенной выше постановке ЗПР и способах выбора альтернатив можно выделить следующие типовые **задачи экспертного оценивания** [9, 23]:

- оценка значения некоторого показателя $f(X)$ альтернативы X ;
- оценка коэффициентов значимости показателей α_i в критерии взвешенного суммирования;
- упорядочение (ранжирование) показателей по важности;
- упорядочение (ранжирование) альтернатив по некоторому признаку, например, по их полезности для ЛПР;
- формирование множества показателей, по которым будет оцениваться альтернатива;
- формирование исходного множества альтернатив, из которых будет осуществляться выбор.

Ниже ознакомимся со способами решения таких задач (более глубокие сведения из области экспертного оценивания можно найти в рекомендуемой литературе).

На рис. 5.2 показана общая схема организации и проведения экспертизы. С целью приближения субъективных мнений экспертов к объективным оценкам, привлекаются, как правило, несколько экспертов. Далее мы увидим, что мнения разных экспертов также могут иметь разный

вес. Это может быть обусловлено различной квалификацией экспертов в данной области. Оценка значимости (веса) мнения эксперта может быть дана самостоятельно на основе специальной шкалы или в группе, когда один эксперт оценивает веса других.

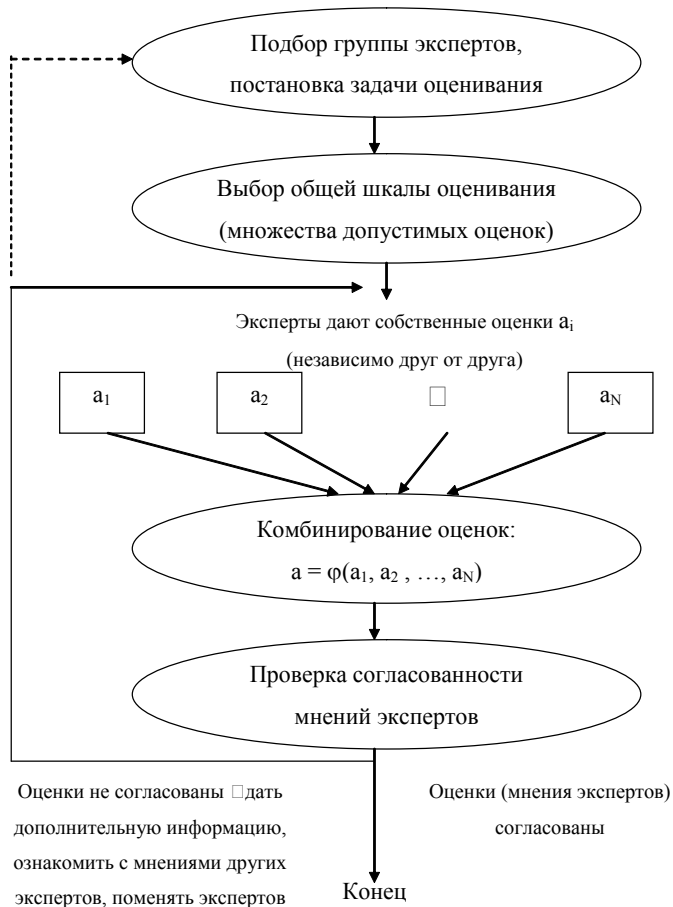


Рис. 5.2. Обобщенная схема экспертизы

Для самооценки (оценки в группе) эксперту можно предложить про- ставить балл себе (другому эксперту), используя следующую балльную шкалу [9]:

- 10 баллов — эксперт специализируется по данному вопросу, име- ет по нему завершённые и внедрённые разработки и практиче- ский опыт;
- 8 баллов — в решении проблем по данному вопросу эксперт не участвует, но этот вопрос входит в сферу его узкой специали- зации;
- 5 баллов — вопрос входит в сферу, тесно связанную с узкой спе- циализацией эксперта, но в работе по данному вопросу он не уча- ствует;
- 3 балла — вопрос не входит в сферу, тесно связанную с узкой спе- циализацией эксперта.

Могут выставляться и промежуточные значения. Согласно данной шкале **весовой коэффициент** эксперта определяется делением полу- ченной оценки на 10 баллов. Значения этих коэффициентов находятся в пределах от 0 до 1. Их можно интерпретировать как вероятность верной оценки данным экспертом.

В случае оценки эксперта в группе вычисляется среднее арифметиче- ское полученных весовых коэффициентов.

Особенности практической организации и проведения процеду- ры экспертного оценивания составляют тот или иной метод опроса. Так, одним из наиболее известных методов является метод Дельфи (см., напр., [37]). Этот метод предполагает полный отказ от коллективных об- суждений между экспертами, т. е. они работают независимо друг от друга. Проводятся последовательные индивидуальные опросы экспертов путем анкетирования.

Ответы обобщаются (в частности, вычисляется осреднённая оценка) и вместе с дополнительной информацией поступают опять к экспертам. Эксперты, чье мнение значительно отличается от среднего, обосновыва- ют свою позицию. По среднему значению и этим обоснованиям эксперты уточняют свою позицию. Цикл повторяется до получения приемлемых согласованных мнений. Опыт использования этого метода показал, что согласованность мнений экспертов достигается, как правило, в пределах пяти циклов опроса.

Далее рассмотрим способы решения некоторых задач.

Задача экспертного оценивания значения показателя. Пусть известны некоторый предлагаемый вариант действия — альтернатива X , а также показатель F , по которому требуется оценить альтернативу. Как и ранее, это может быть оценка надежности предполагаемого поставщика. Пусть N экспертов дают собственные оценки надежности $F(X)_i$ по балльной шкале (например, по 10-балльной шкале). Требуется определить комбинированную экспертную оценку. Для комбинирования оценок используется следующая формула:

$$F(X) = \sum_{i=1}^N q_i F(X)_i,$$

где q_i — весовой коэффициент i -го эксперта.

В более общем случае, когда q_i необязательно принимает значения от 0 до 1 и сумма весов всех экспертов не равна 1, формула становится такой:

$$F(X) = \frac{\sum_{i=1}^N q_i F(X)_i}{\sum_{i=1}^N q_i}.$$

Согласованность мнений экспертов может быть оценена по разбросу экспертных оценок:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N q_i (F(X)_i - F(X)_{\text{cp}})^2}{\sum_{i=1}^N q_i},$$

где $F(X)_{\text{cp}}$ — средняя арифметическая оценка.

Этот же способ комбинирования может быть использован при определении экспертным путем коэффициентов значимости показателей α_i .

Задача ранжирования показателей (альтернатив). Пусть есть M показателей, которые необходимо упорядочить по важности. Аналогично: есть множество альтернатив, которые необходимо упорядочить по привлекательности для принятия решения. Решение задачи иллюстрируется с помощью табл. 5.3. Количество показателей $M = 7$, количество экспертов $N = 5$. Каждый эксперт проставляет свой ранг показателю (альтернативе). Ранг, равный 1, означает наибольший приоритет показателя (альтернативы).

Сумма рангов позволяет упорядочить объекты экспертизы. Так по данным табл. 5.3 можно получить следующую упорядоченную последовательность объектов (показателей, альтернатив):

$$5 - 3 - 2 - 1 - 6 - 4 - 7,$$

где 7-й объект оказался последним в списке, так как все эксперты единодушно присвоили ему наивысший ранг. При необходимости, можно вычислить итоговый ранг, который рассчитывается как среднее арифметическое частных оценок.

В данном примере не учитываются весовые коэффициенты экспертов. Вычисление итогового ранга для упорядочения объектов с учетом весовых коэффициентов выполняется по формуле, аналогичной формуле комбинирования оценок в предыдущей задаче (предлагается сделать самостоятельно).

Таблица 5.3

Данные для оценки согласованности мнений пяти экспертов при ранжировании показателей (альтернатив)

Номер объекта экспертизы (показателя, альтернативы)	Оценка эксперта (ранг) объекта					Сумма рангов	Отклонение от среднего	Квадрат отклонения
	1	2	3	4	5			
1	4	6	4	4	3	21	1	1
2	3	3	2	3	4	15	-5	25
3	2	2	1	2	2	9	11	121
4	6	5	6	5	6	28	8	64
5	1	1	3	1	1	7	-13	169
6	5	4	5	6	4	25	5	25
7	7	7	7	7	7	35	15	225
Среднее значение ранга R_{cp}						20		
Сумма квадратов отклонений S								630

Важной характеристикой является согласованность мнений экспертов. Согласованность проверяется по величине коэффициента конкордации Кендалла:

$$W = 12 \times S / [N^2 \times (M^3 - M)],$$

где S — сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта экспертизы от среднего арифметического (см. табл. 5.3);

N — число экспертов;

M — число объектов экспертизы.

Коэффициент конкордации измеряется в диапазоне от 0 до 1, причем 0 соответствует полной несогласованности мнений, а 1 — полной согласованности. Если значение W превышает 0,4–0,5, то качество оценки считается удовлетворительным; если $W \geq 0,7$ –0,8 — качество оценки считается высоким.

Определим степень согласованности мнений экспертов по данным табл. 5.3. Среднее арифметическое число рангов:

$$R_{cp} = (21 + 15 + 9 + 28 + 7 + 25 + 35) / 7 = 20.$$

Затем оценим сумму квадратов отклонений от среднего: $S = 630$. Далее определим величину коэффициента конкордации:

$$W = 12 \times 630 / 25 \times (343 - 7) = 0,9.$$

Полученный результат свидетельствует о том, что мнения экспертов очень хорошо согласованны.

Задача формирования исходного множества альтернатив выбора (множества показателей для оценки альтернатив). Решение этой задачи позволяет сформировать и поэтапно уточнить с помощью экспертов множество альтернатив, из которых будет делаться выбор. Эта же задача может быть полезной в случае, когда требуется определить множество показателей, по которым будут оцениваться альтернативы или любые другие объекты. Далее для упрощения будем говорить о множестве альтернатив.

Алгоритм формирования множества альтернатив экспертным путем следующий:

- 1) на первом шаге каждый i -й эксперт предлагает свое множество альтернатив X_i ;

- 2) далее строится объединенное множество альтернатив:

$$\tilde{X} = \bigcup_{i=1}^N X_i;$$

- 3) строится матрица $R = (r_{ij})$, где $r_{ij} = 1$, если j -я альтернатива i -го эксперта вошла в множество, т. е. если i -й эксперт предложил j -ю альтернативу; в противном случае $r_{ij} = 0$;
- 4) для каждой альтернативы определяется вероятность ее вхождения в искомое множество X по формуле:

$$p_j = \sum_{i=1}^N r_{ij} / N$$

или, в случае разных весов экспертов,

$$p_j = \sum_{i=1}^N q_i r_{ij} / \sum_{i=1}^N q_i;$$

- 5) множество \tilde{X} преобразуется в искомое множество альтернатив X . В искомое множество X включаются те альтернативы, для которых p_j не меньше, чем некоторый установленный порог $p_{\text{нор}}$.

Для примера рассмотрим следующую задачу. Имеется фирма, занимающаяся внедрением корпоративных информационных систем на предприятиях. Работа эта достаточно сложная, трудоемкая и требует больших временных и финансовых затрат. Одним из первых этапов работ является проведение экспресс-обследования и формирование общего представления о дальнейших этапах работы, на основе чего формируется техническое задание и заключается договор с предприятием-заказчиком. В крайнем случае по результатам экспресс-обследования может быть принято решение и об отказе дальнейшего сотрудничества с предприятием.

Задачей экспертов является формирование множества тех показателей, по которым далее будет оценено предприятие и принято решение о дальнейших планах взаимодействия (следовательно, и вариантов технических заданий) или об отказе от работ. Пусть опрашиваются три экспер-

та. Предположим, что первый предложил включить в число показателей следующие:

- наличие на предприятии опыта использования автоматизированных систем управления f_1 ;
- наличие руководителя высокого ранга, активно заинтересованного во внедрении корпоративной системы f_2 ;
- платежеспособность предприятия f_3 .

Пусть второй эксперт кроме перечисленных показателей предложил включить в искомое множество такой, как наличие на предприятии специалистов, имеющих опыт организации и администрирования компьютерных сетей, f_4 .

Третий эксперт предложил рассматривать показатель f_3 , а также следующие показатели:

- удаленность предприятия от места жительства f_5 ;
- наличие симпатичного главного бухгалтера, который сможет войти в команду разработчиков в качестве консультанта, f_6 .

В табл. 5.4 приведены результаты опроса экспертов и обработки экспертных мнений с помощью приведенного выше алгоритма.

Пусть установлен порог $p_{\text{пор}} = 2/3$ (т. е. приемлемым является мнение, с которым согласны две трети экспертов). Тогда в искомое множество показателей оценки потенциального заказчика, войдут показатели f_1, f_2, f_3 .

Таблица 5.4
Результаты формирования множества показателей

Эксперт	Предложенные показатели					
	f1	f2	f3	f4	f5	f6
1-й	1	1	1	0	0	0
2-й	1	1	1	1	0	0
3-й	0	0	1	0	1	1
p_j	$2/3$	$2/3$	$3/3$	$1/3$	$1/3$	$1/3$

Методы организации сложных экспертиз. Практические задачи системного анализа гораздо сложнее, нежели рассмотренные примеры. В них процедура экспертного оценивания применяется неоднократно.

Рассмотрим процесс принятия решения. В ходе него могут выполняться такие задачи:

- экспертное определение исходного множества альтернатив (отсеивание неприемлемых вариантов);
- определение множества показателей для характеристики альтернативы;
- определение структуры показателей, выделение частных и комплексных показателей, а также весов относительной важности частных показателей в структуре комплексного;
- экспертное оценивание альтернативы по каждому из показателей или же ранжирование — упорядочение альтернатив по каждому из показателей и т. п.

Очевидно, что в реальных задачах экспертиза, как правило, становится сложной процедурой, включающей более простые задачи экспертного оценивания. Для разных задач могут привлекаться различные коллективы экспертов, выбираться разные шкалы и способы организации опроса.

Другое понимание сложности экспертизы учитывает сложность решаемой проблемы и основывается на стратификации проблемы, выделении и взаимосвязи более простых составляющих. Вспомним дерево целей (см. разд. 3), при построении которого предполагается не только разделение целей на подцели, но и определение их взаимных приоритетов — весов важности. Очевидно, что построение дерева целей осуществляется с привлечением экспертов.

Методы сложных экспертиз позволяют организовать экспертное исследование проблем, которые возникают в системном анализе сложных, больших систем (на уровне региона, отрасли, холдингов, взаимодействующих предприятий, при разработке сложных производственных комплексов и т. п.).

Одним из распространенных методов является **метод решающих матриц**. Дадим его краткую характеристику на основе [6].

Пусть имеется исходная проблема, связанная с разработкой крупного производственного проекта. Создание такого проекта (проблема) может быть декомпозировано на ряд направлений деятельности (подпроблемы) (см. рис. 5.3). Каждая из них характеризуется весом относительной важности, т. е. относительным вкладом в решение исходной проблемы: a_1, a_2, \dots, a_{na} .

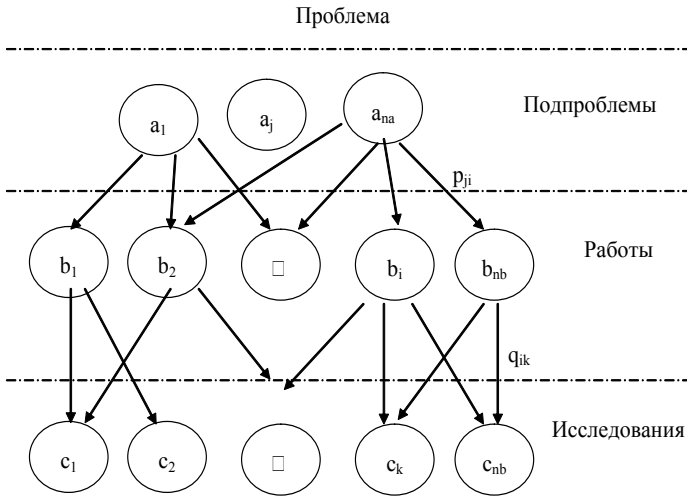


Рис. 5.3. Многоуровневая структура метода решающих матриц

Далее, на следующем уровне, можно определить ряд мероприятий (работ), который потребуется выполнить для получения результатов по выбранным направлениям. Дуги, которыми подпроблемы связаны с работами, характеризуются весами p_{ji} . Они могут интерпретироваться как вклад i -й работы в решение j -й подпроблемы.

Следующий уровень может содержать иные средства, например, исследования, которые могут потребоваться для проведения работ. Тогда вес дуги q_{ik} означает вклад k -го исследования в выполнение i -й работы. Стратификация может быть продолжена, если есть необходимость рассмотреть элементы иного типа, которые взаимосвязаны с предыдущим уровнем и вносят свой вклад в выполнение исследований.

Интересно, что эксперты дают непосредственную оценку только весам подпроблем a_j (очевидно, что с помощью экспертов может определяться и сам перечень подпроблем). В методе решающих матриц эти веса для удобства экспертов выражаются в процентах, т. е. полагается, что $\sum a_j = 100$.

Далее эксперты оценивают вклады работ в решение подпроблем, т. е. p_{ji} , причем также принимается условие нормирования: $\sum p_{ij} = 100$. Та-

ким образом формируется решающая матрица $\|p_{ji}\|$, которая позволяет определить относительные веса элементов следующего уровня (т. е. работ):

$$b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} a_j.$$

Аналогичным образом через решающую матрицу $\|q_{ik}\|$ определяются веса важности элементов следующего уровня в иерархической структуре, в нашем случае — исследований.

В результате использования метода оценка относительной важности альтернатив сводится к последовательности оценок более простых частных альтернатив. Большая неопределенность, имевшая место в начале решения задачи, разделяется на мелкие компоненты, более обозримые и более поддающиеся оценке, что соответствует одной из основных идей системного анализа.

Другие методы организации сложных экспертиз также основываются на идее разбиения сложной проблемы на составляющие, вычленение разных компонентов проблемы и оценивание этих компонентов и взаимосвязей между ними. Среди таких методов можно отметить метод Паттерн; метод, основанный на использовании информационного подхода [6]; метод анализа иерархий [9].

Резюме

1. В общем виде задача принятия решения состоит в выборе среди множества возможных альтернатив того варианта, который лучше других согласно известному принципу оптимальности. В широком смысле слова процесс принятия решения содержит и генерацию множества вариантов, из которых делается выбор.

2. В математической постановке задачи принятия решений принцип оптимальности выражается в виде критерия выбора (критерия оптимальности). В реальных задачах системного анализа критериев выбора может быть более одного. Они отражают разные, возможно, противоречащие друг другу цели. Если удастся сформулировать задачу в виде математических оптимизационных моделей, то получаем модель многокритериальной задачи оптими-

зации (например, многокритериальную задачу линейного программирования). Практика решения таких задач основывается на применении методов сведения многокритериальной задачи к задаче с одним критерием. Процесс решения, даже с помощью компьютера, становится поиском компромисса между критериями, а результаты во многом зависят от предпочтений и интересов лица, принимающего решения.

3. Задача, где множество альтернатив задано явно, называется задачей выбора. В этой задаче, как правило, нет возможности применить известные методы оптимизации. Выбор становится прерогативой ЛПР. Для объективизации выбора применяются известные модели и критерии выбора, основанные на оценке полезности альтернатив по разным показателям.

4. Для того чтобы получить информацию, касающуюся альтернатив (показателей), в задачах выбора широко используются методы экспертного опроса. Для экспертного оценивания привлекаются эксперты, которые наряду с ЛПР считаются основными участниками процесса принятия решения. Эксперты в своей работе могут пользоваться разными типами шкал для оценки. Кроме абсолютной шкалы широко применяется шкала отношений, балльная шкала, а также качественные шкалы — порядковая (ранговая), классификационная (номинальная).

5. К числу типовых задач экспертного оценивания можно отнести: задачу оценки значения показателя (параметра), задачу формирования исходного множества альтернатив (множества показателей для характеристики альтернатив), задачу классификации альтернатив, задачу ранжирования и др.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое задача принятия решения? Какие элементы входят в формальную постановку задачи принятия решения?
2. Чем отличается задача оптимизации от задачи выбора?
3. Чем характерна задача многокритериальной оптимизации?
4. Какие способы устранения многокритериальности можно применить?
5. Что такое критерии выбора? Назовите примеры критериев выбора.
6. Чем характерно принятие решений в условиях риска и в условиях неопределенности?
7. Назовите основных участников процесса принятия решения.
8. Какова роль экспертов в процессе принятия решения?
9. Назовите примеры задачи экспертного оценивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение изложения теоретического материала можно сформулировать следующие выводы.

Дисциплина «Теория систем и системный анализ» содержит те сведения, которые будут полезны в деятельности любого специалиста, занимающегося исследованием, разработкой, эксплуатацией сложных систем. Информационные системы не являются исключением. Более того, используемые на практике методологии проектирования информационных систем, исследования и автоматизации бизнес-процессов базируются на методах системного подхода и системного анализа.

При решении профессиональных задач в своей проблемной области информатику полезно будет руководствоваться идеями и методами системного анализа, изложенными в данном пособии. Особое внимание следует обратить на вопросы разработки системы целей, на содержание этапов анализа и синтеза в системах управления, вопросы обоснования решений и проведения экспертиз.

Системный анализ при исследовании и решении проблем опирается на известные математические методы и модели. Это позволяет получать результаты, которые являются количественно, объективно обоснованными. В то же время не исключается творческое участие человека, применение его неформализованных, интуитивных эмпирических знаний. Это хорошо заметно в рассмотренных в данном пособии задачах принятия решений при многих критериях. Видно, что, несмотря на применение математического аппарата, роль человека в обосновании и принятии решения остается главной. Прежде всего, лицо, принимающее решения (руководитель, группа ответственных специалистов) принимает решения с учетом собственных предпочтений и видения ситуации. Проведение экспертиз помогает, с одной стороны, уменьшить влияние субъективных факторов, т. е. объективизировать решения; с другой стороны, получить информацию для принятия решения, которую иными способами (измерения, вычисления и т. п.) получить невозможно или крайне трудно.

Современные методики решения проблем (в области менеджмента, проектирования программного обеспечения, изобретательства и др.) во многом базируются на общих идеях системного анализа, являются

конкретизацией этих идей и методов, их воплощением в самостоятельные технологии. Освоение материала по данной дисциплине, понимание системного подхода, самих идей и методов системного анализа позволяет быстро и эффективно осваивать упомянутые методики практического решения проблем в различных сферах деятельности. Более того, концепции и методы системного анализа позволяют создавать собственные эффективные технологии решения проблемных задач.

ПРАКТИКУМ

В соответствии с рабочей программой при изучении дисциплины предусматривается 6 часов практических занятий. Ниже дано описание трех заданий, каждое из которых рассчитано на 2 часа.

Задание 1. Построение структурной схемы системы

Задание выполняется после изучения глав 1 и 2. В процессе выполнения задания необходимо для выбранной системы составить структурную схему на уровне макропредставления и на уровне микропредставления. В качестве анализируемой системы рекомендуется выбрать упрощенное представление некоторого предприятия. Полезно, если это будет реально существующее предприятие, знакомое обучающемуся.

Последовательность выполнения задания:

1. Сформулировать в достаточно общем виде назначение системы (предприятия).
2. Разработать структурную схему системы (предприятия) для макропредставления, т. е. схему внешних связей системы. Пример показан на рис. П.1.

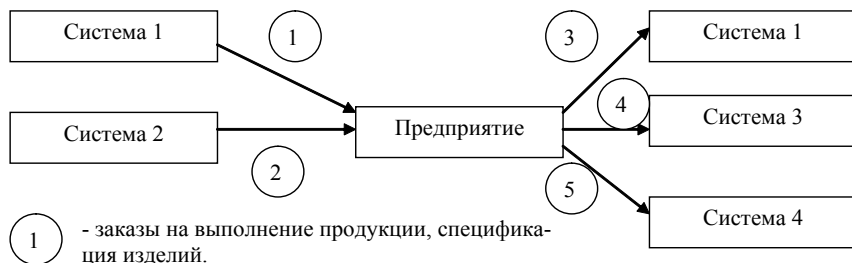


Рис. П.1. Схема внешних связей предприятия

Обратите внимание, что на рисунке упорядочены входы и выходы системы. Внешние системы, от которых есть связь на вход нашего Предприятия

тия, располагаются слева от него. Те внешние системы, которые связаны с выходом предприятия, располагаются на схеме справа. Если некоторая система связана с предприятием и по входу, и по выходу, то она рисуется на схеме дважды, как это сделано для Системы 1.

Связи нумеруются. Ниже под схемой приводится расшифровка содержания связи между системами. К этому содержанию относятся: некоторая информация и документы, управляющие воздействия, материалы и полуфабрикаты, заказы на выпуск продукции; отчеты, готовая продукция предприятия и т. д.

3. Разработать структурную схему предприятия на микроуровне, т. е. показать состав и взаимосвязи внутренних подсистем (см. рис. П.2). При этом необходимо руководствоваться следующими положениями:

- структурная схема строится для одного уровня детализации. Это значит, что элементы на схеме должны быть одного уровня (т. е. на одной схеме не отображается, например, крупная служба и отделы другой службы);
- уровень детализации желательно выбрать такой, чтобы на схеме было не больше 3–5 элементов;
- линии связи, которые имеются на макропредставлении, не пропадают на внутренней схеме, т. е. обязательно находят свое продолжение (начало) на входе (на выходе) элементов внутренней схемы.

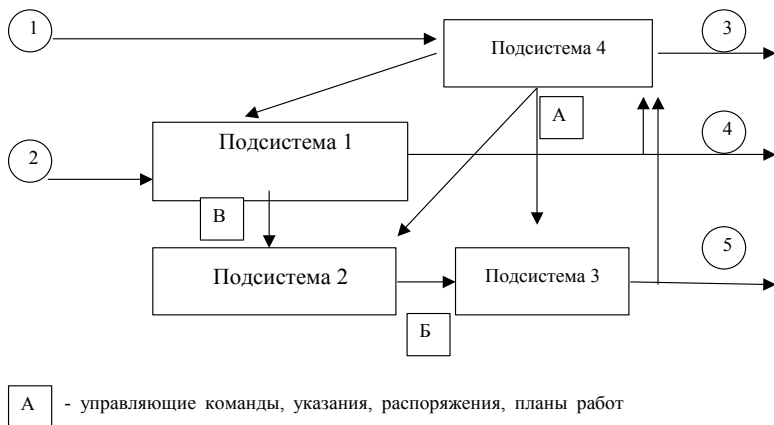


Рис. П.2. Структурная схема предприятия

Под схемой подписывается содержание внутренних связей (см. рис. П.2), которые в отличие от схемы внешних связей обозначаются буквами А, Б, В и т. д. Цифрами на рисунке показаны те линии связи, которые имеются на схеме внешних связей.

Отчет по выполнению задания оформляется в электронной форме (рекомендуется в MS Word). Схемы могут быть нарисованы в редакторе Word или любом другом редакторе.

Задание 2. Формирование и структуризация системы целей (разработка дерева целей)

Задание выполняется после изучения глав 2 и 3. Необходимо построить дерево целей для некоторой системы. Примером такой системы может стать система, которая рассматривалась при выполнении первого задания. Должна быть реализована следующая последовательность выполнения задания.

1. Дать общую формулировку глобальной цели. Глобальная цель может быть выбрана исходя из следующих рекомендаций:

- в существующей системе имеется проблема (см. определение термина «проблема» в гл. 2). Эта проблема может характеризоваться утверждениями вида: «система не может выполнять в полной мере требуемого назначения», «функционирование системы связано с большими затратами», «результаты деятельности системы (выпускаемая продукция) не находят сбыта» и т. п. Разрешение такого рода проблемы предполагает модернизацию существующей системы (состав подсистем, функции подсистем, связи между ними и их содержание), в т. ч., возможно, пересмотр ее внешних связей;
- проблема состоит в том, что имеется потребность в выполнении некоторого назначения, но системы для этого еще не существует. Разрешение этой проблемы предполагает создание в окружающей среде такой системы, которая бы обладала структурой и функциями, позволяющими выполнять указанное назначение.

Глобальная цель может выступать как представление цели новой (модернизированной) системы, в которой проблема будет снята.

2. На следующих этапах глобальная цель уточняется путем декомпозиции. Сначала нужно выполнить декомпозицию глобальной цели на более простые подцели.

3. Продолжить декомпозицию целей путем разделения полученных подцелей на следующих уровнях.

4. На каждом уровне ввести коэффициенты относительной важности целей, т. е. проранжировать цели.

В итоге должно получиться дерево целей для новой (модернизированной) системы. При построении дерева целей необходимо руководствоваться рекомендациями из гл. 3.

Отчет по выполнению задания оформляется в электронной форме как продолжение отчета по заданию 1 (рекомендуется в MS Word). Схемы и графики могут быть нарисованы в редакторе Word или любом другом редакторе.

Задание 3. Составление модели оптимизационной задачи и поиск решения

Задание выполняется после изучения глав 4, 5.

Необходимо составить математическую модель задачи оптимизации планирования выпуска продукции, дать смысловую интерпретацию элементам математической модели, подобрать исходные данные и найти оптимальное решение. Выполнить модернизацию задачи при наличии нескольких критериев (не менее двух) и предложить способы решения.

Задание целесообразно выполнять применительно к системе — предприятию, которое рассматривалось в заданиях 1 и 2.

Последовательность выполнения задания должна содержать следующие этапы.

1. Применительно к предприятию, которое рассматривалось в заданиях 1 и 2, предположить несколько (два-три) видов выпускаемой продукции (услуг).

2. Сформулировать цель работы: планирование объемов выпускаемой продукции (услуг) на некоторый период исходя из имеющихся (планируемых) ресурсов и при известном критерии оптимизации (например, максимизации доходов от реализации продукции).

3. Составить задачу линейного программирования и дать ее смысловую интерпретацию, т. е. определить виды продукции (услуг), критерий оптимизации, виды ресурсов (например, запасов сырья; финансов; возможных трудозатрат, выраженных в человеко-часах, и т. п.).

Для составления задачи оптимизации в виде задачи линейного программирования рекомендуется использовать следующие обозначения:

x_i — единицы i -го вида продукции или услуг (услуги можно выражать в человеко-часах), которые может выпускать предприятие;

c_i — доход от реализации единицы продукции i -го вида (если речь идет о задаче максимизации доходов);

a_{ji} — затраты j -го ресурса на производство единицы продукции i -го вида;

B_j — запасы j -го ресурса на рассматриваемый период.

Формула и пример смысловой интерпретации такой задачи приведены в гл. 4.

4. Подобрать исходные данные и решить данную задачу, используя надстройку «Поиск решения» в MS Excel (возможны иные пакеты специальных программ).

5. Не внося коррективы в полученную модель, предложить еще один критерий оптимизации. Дополнить полученную модель новой целевой функцией. Предложить способ решения задачи (способы решения задач многокритериальной оптимизации описаны в гл. 5).

Отчет по выполнению задания оформляется в электронной форме в MS Excel (может быть выбрана иная форма представления результатов, если использовался другой пакет программ).

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

Тесты для самоконтроля

Глава 1

1. Математическую модель, которая описывает функционирование технического объекта, можно отнести к классу:

- материальных систем;
- абстрактных систем.

2. На входе и выходе абстрактной системы в общем случае имеются:

- на входе — ресурсы, на выходе — произведенная из ресурсов продукция;
- на входе — состояние объекта управления, на выходе — управляющие воздействия;
- на входе — постановка задачи, на выходе — результат решения этой задачи.

3. Содержание входа такой организационно-экономической системы, как производственное предприятие, наиболее полно характеризуют:

- заказы на выпуск продукции;
- выпускаемые изделия и их спецификации, договоры на поставку продукции;
- материальные ресурсы производства, заказы на выпуск продукции;
- средства автоматизации производства.

4. Зависят ли состояние и свойства системы от взаимосвязей между ее элементами:

- нет;
- зависит только для систем управления;
- да.

5. *Внешние связи системы со средой и другими системами отображаются:*

- на микроуровне;
- на макроуровне.

6. *Какой вариант наиболее подходит для характеристики иерархических систем:*

- система со множеством взаимосвязей между подсистемами;
- совокупность систем, обменивающихся ресурсами при производстве различных видов продукции;
- система, где выделяются два и более уровней относительно автономных подсистем, функционирование которых определяется управляющими командами от верхних уровней и подчинено единой цели;
- система сбора, хранения, обработки и представления информации в процессе управления сложными организационно-техническими объектами.

7. *Обратная связь в системе управления необходима:*

- для согласования с объектом управления предполагаемых управляющих воздействий;
- для передачи информации о состоянии объекта управления и о том, как он реагирует на управляющие воздействия;
- для генерации и передачи на объект управления управляющих воздействий.

8. *Уровень адаптации, на котором пересматриваются состав и взаимосвязи элементов системы управления:*

- параметрическая адаптация;
- структурная адаптация;
- адаптация цели;
- адаптация объекта управления.

9. *Связь, существующая между этапами анализа и синтеза при исследовании систем:*

- анализ предшествует синтезу;
- синтез предшествует анализу;
- между анализом и синтезом не имеется никакой связи.

10. Наиболее полно и логически верно отражает последовательность фаз управления предприятием:

- постановка цели, выбор критерия, генерация управляющих воздействий;
- планирование, анализ, учет, регулирование;
- планирование, учет, анализ, регулирование;
- учет, анализ, регулирование, планирование.

11. Степень участия человека в автоматизированных системах управления:

- человек участвует в процессе управления только на этапах разработки алгоритмов управления;
- человек полностью выполняет все функции управления;
- человек выполняет функции управления с передачей части из них ЭВМ.
- человек участвует в процессе управления только как объект управления.

12. Объект управления — это:

- объект, на состояние и (или) поведение которого воздействует система управления;
- объект, который вырабатывает управляющие воздействия;
- объект, который является носителем цели управления;
- объект, который в определенных условиях замещает объект-оригинал и служит для получения информации о нем.

13. Наиболее полный список видов (уровней) адаптации:

- параметрическая, структурная, адаптация цели, адаптация внешней среды; адаптация объекта управления;
- параметрическая, структурная, адаптация объекта управления, адаптация цели;
- структурная, адаптация цели, адаптация внешней среды; адаптация объекта управления.

14. К детерминированным системам относятся:

- системы, в которых составные части взаимодействуют между собой точно определенным образом;
- системы, в которых составные части взаимодействуют между собой неоднозначно, неопределенным образом;
- системы, поведение которых подчиняется вероятностным законам.

Глава 2

1. *Что понимается под системным анализом?*
2. *Перечислите этапы, составляющие структуру системного анализа.*
3. *Что наиболее полно характеризует состав основных структурно-логических элементов системного анализа?*
 - *цель, средства, результат;*
 - *цель, критерий, альтернатива;*
 - *цель, средства, модель, критерий, принятие решения;*
 - *цель, дерево целей, средства, показатель, граф показателей, принятие решения.*
4. *Какие основные виды анализа и синтеза выделяются при исследовании систем управления?*
5. *Что такое цель в системном анализе?*
6. *Что такое средства в системном анализе?*
7. *Дайте определение критерия при принятии решений.*

Глава 3

1. *Что подразумевает зависимость представления о цели и формулировки цели от познания объекта (процесса) и от времени?*
2. *Назовите основные закономерности целеобразования.*
3. *Перечислите основные типы структур для представления системы целей.*
4. *Декомпозиция цели — это:*
 - *объединение группы подцелей в одну цель верхнего уровня;*
 - *разделение системы целей на уровни;*
 - *разбиение цели верхнего уровня на подцели;*
 - *установление порядка достижения цели.*

5. Коэффициент относительной важности цели отражает:

- порядок достижения данной цели в последовательности работ;
- относительный уровень дерева целей, в котором расположена данная цель;
- относительный вклад данной цели в достижение цели верхнего уровня.

6. Что означает стратификация целей?

Глава 4

1. Какими свойствами должна обладать модель?

- как можно полнее соответствовать объекту-оригиналу;
- представляться с помощью системы уравнений или неравенств;
- быть подобной объекту-оригиналу и достаточно простой для исследования.

2. Модель — это:

- критерий выбора лучшего варианта действий;
- материальная или идеальная система, которая заменяет объект-оригинал и служит для получения информации о нем и (или) других объектах, с ним связанных;
- материальная система, которая заменяет объект-оригинал и служит для получения информации о нем и (или) других объектах, с ним связанных.

3. Объект-оригинал в моделировании — это:

- объект, отличный от других по некоторым признакам;
- объект, модель которого разрабатывается и используется при моделировании;
- объект, который лучше других по заданному критерию;
- объект, который используется в качестве модели другого объекта?

4. Может ли в качестве модели выступать действующее предприятие?

5. Возможно ли использовать в качестве модели реального технического объекта некоторую абстрактную систему?

6. Выбрать вариант, в котором наиболее полно и правильно характеризуются предметно-математические модели:

- модели, которые воплощаются в предмете; процессы в них отличаются по своей природе от процессов в объекте-оригинале, но подчиняются одним закономерностям;
- модели, которые являются предметным воплощением математических моделей;
- модели, которые предназначены для исследования альтернатив и выбора оптимальных решений с применением ЭВМ.

7. Какой вариант наиболее полно и хронологически верно отражает схему математического моделирования?

- постановка задачи, содержательное (описательное) моделирование, формализация, математический анализ, численное решение, анализ результатов;
- постановка задачи, формализация, математический анализ, численное решение, разработка физической модели, экспериментирование с физической моделью, анализ результатов;
- постановка задачи, формализация, содержательное (описательное) моделирование, численное решение, математический анализ, апробация, анализ результатов.

8. Для отражения внутренней организации объекта, его составных частей, связей между входными, выходными, внутренними параметрами используется модель:

- функциональная математическая;
- оптимизационная;
- модель состава;
- структурная математическая.

9. Какая модель используется для отражения поведения моделируемой системы, ее реакций на входные воздействия?

- функциональная математическая;
- оптимизационная;
- графоаналитическая;
- структурная математическая.

Глава 5

1. *Правильный набор элементов общей постановки задачи принятия решения:*

- одна альтернатива, правило принятия решения, ограничения;
- множество альтернатив (более одной), критерий выбора;
- алгоритм анализа, критерий выбора;
- множество вариантов выбора.

2. *При простом упорядочении альтернатив по некоторому признаку используется шкала измерения:*

- абсолютная шкала;
- шкала отношений;
- ранговая шкала;
- балльная шкала.

3. *Правильно указывает функцию эксперта в задаче принятия решения:*

- сравнение альтернатив и принятие наиболее эффективного решения;
- анализ принятого решения и его исполнение;
- анализ и оценка альтернатив для их сравнения и последующего выбора;
- организация проведения экспертиз.

4. *Правильно указывает функцию ЛПР в задаче принятия решения:*

- анализ принятого решения и его исполнение;
- информационная подготовка для последующего выбора решения;
- принятие решения;
- консультирование эксперта при выборе альтернатив.

5. *Выполните нормирование показателя со значением $f = 80$ ед. при известном эталонном значении $f^э = 100$ ед. Правильным ответом для полученного $f^н$ будет:*

- $f^н = f^э / f = 1,25$;
- $f^н = f^э \times f = 800$ ед.²;
- $f^н = f^э - f = 20$ ед.;
- $f^н = f / f^э = 0,8$.

6. Критерий вида «эффект/затраты» предполагает:

- выбор альтернативы по наилучшему соотношению ожидаемого эффекта и затрат на реализацию решения;
- выбор альтернативы по взвешенному среднему значений показателей;
- выбор альтернативы, обеспечивающей наилучший гарантированный результат в самых неблагоприятных условиях.

7. К задаче принятия решений в условиях риска относится:

- задача, в которой отсутствует информация о возможных исходах альтернатив;
- задача, в которой имеется информация о возможных исходах альтернатив;
- задача, в которой имеется информация о возможных исходах альтернатив и их вероятностях.

8. По результатам какого из приведенных ниже этапов экспертизы принимается решение о том, принять или не принять результаты экспертного оценивания?

- подбор экспертов;
- комбинирование экспертных оценок;
- проверка согласованности мнений экспертов;
- анализ и сравнение альтернатив.

9. Не является примером задач, решаемых методами экспертных оценок:

- ранжирование вариантов принятия решений;
- формирование множества исходных альтернатив;
- учет данных об исполнении решений;
- оценка весовых коэффициентов показателей при принятии решений.

10. Если для экспертного оценивания найдены эксперты, квалификация которых различна, то:

- экспертиза не проводится;
- экспертиза проводится, экспертные оценки комбинируются с учетом весовых коэффициентов экспертов;
- экспертиза проводится, экспертные оценки комбинируются путем суммирования оценок и умножения результата на коэффициент ослабления;
- экспертиза проводится, экспертные оценки комбинируются простым суммированием.

11. Ранжирование объектов, например альтернатив, подразумевает:

- определение весовых коэффициентов частных показателей для оценки объектов;
- упорядочение объектов по важности и расчет рангов — значений частных показателей в комплексной оценке объекта;
- упорядочение объектов по некоторому признаку и присвоение объекту ранга — номера места объекта в этой последовательности.

12. Три эксперта решали задачу формирования исходного множества альтернатив. Первый предложил альтернативы A, B ; второй — A, C, D ; третий — A, B, D . Какие из этих альтернатив войдут в искомое множество, если вес экспертов одинаков и $p_{\text{нор}} = 0,8$?

- A, B, C, D ;
- A, B ;
- A ;
- A, B, D .

Ключи к тестам для самоконтроля

Глава 1

1. К классу абстрактных систем.
2. На входе — постановка задачи, на выходе — результат решения этой задачи.
3. Материальные ресурсы производства, заказы на выпуск продукции.
4. Да.
5. На макроуровне.
6. Система, где выделяются два и более уровней относительно автономных подсистем, функционирование которых определяется управляющими командами от верхних уровней и подчинено единой цели.
7. Для передачи информации о состоянии объекта управления и о том, как он реагирует на управляющие воздействия.
8. Структурная адаптация.
9. Анализ предшествует синтезу.
10. Планирование, учет, анализ, регулирование.
11. Человек выполняет функции управления с передачей части из них ЭВМ.

12. Объект, на состояние и (или) поведение которого воздействует система управления.
13. Параметрическая, структурная, адаптация объекта управления, адаптация цели.
14. Системы, в которых составные части взаимодействуют между собой точно определенным образом.

Глава 2

1. Системный анализ — практическая междисциплинарная совокупность методов и средств, предназначенных для решения проблем при исследовании, проектировании, обеспечении функционирования, совершенствовании и управлении сложными (большими) системами.
2. Структура системного анализа представлена совокупностью этапов: декомпозиция, анализ, синтез, реализация.
3. Цель, средства, модель, критерий, принятие решения.
4. Структурный, функциональный, параметрический, информационный.
5. Цель — желаемое состояние системы или результаты ее деятельности.
6. Средства достижения цели — это объективные предметы или действия, включенные в структуру целеполагающей деятельности и обеспечивающие получение отдельного результата.
7. Критерий — это признак, условие, по которому выделяется наиболее предпочтительный вариант из различных вариантов решения, способов достижения поставленной цели — альтернатив.

Глава 3

1. Формулировка цели и представление о ней зависят от стадии познания объекта, по мере развития представления о нем цель может переформулироваться.
2. 1) Зависимость представления о цели и формулировки цели от познания объекта (процесса) и от времени;
2) зависимость цели от внешних и внутренних факторов;
3) возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации;
4) закономерности формирования структур целей;

3. Сетевая, иерархическая (древовидная), матричная.
4. Разбиение цели верхнего уровня на подцели.
5. Относительный вклад данной цели в достижение цели верхнего уровня.
6. Стратификация — разделение системы целей на уровни абстракции.

Глава 4

1. Быть подобной объекту-оригиналу и достаточно простой для исследования.
2. Материальная или идеальная система, которая заменяет объект-оригинал и служит для получения информации о нем и (или) других объектах, с ним связанных.
3. Объект, модель которого разрабатывается и используется при моделировании.
4. Да, предприятие будет называться действующей (функционирующей) моделью. Например, в качестве модели может выступать предприятие, экспериментально внедряющее новые методы хозяйствования. Результаты таких экспериментов могут быть перенесены на другие предприятия, которые как раз и заменяет эта модель в эксперименте.
5. Да, например, такой абстрактной системой будет математическая модель.
6. Модели, которые воплощаются в предмете; процессы в них отличны по своей природе от процессов в объекте-оригинале, но подчиняются одним закономерностям.
7. Постановка задачи, содержательное (описательное) моделирование, формализация, математический анализ, численное решение, анализ результатов.
8. Структурная математическая.
9. Функциональная математическая.

Глава 5

1. Множество альтернатив (более одной), критерий выбора.
2. Ранговая шкала.
3. Анализ и оценка альтернатив для их сравнения и последующего выбора.

4. Принятие решения.
5. $f^n = f/f^3 = 0,8$.
6. Выбор альтернативы по наилучшему соотношению ожидаемого эффекта и затрат на реализацию решения.
7. Задача, в которой имеется информация о возможных исходах альтернатив и их вероятностях.
8. Проверка согласованности мнений экспертов.
9. Учет данных об исполнении решений.
10. Экспертиза проводится, экспертные оценки комбинируются с учетом весовых коэффициентов экспертов.
11. Упорядочение объектов по некоторому признаку и присвоение объекту ранга — номера места объекта в этой последовательности.
12. А.

Вопросы для подготовки к экзамену

1. Определение системы. Принципы системности.
2. Классификация систем: по происхождению, по степени сложности, по степени взаимодействия с внешней средой, по характеру поведения.
3. Характеристика и взаимосвязь этапов анализа и синтеза в исследовании систем. Понятия подсистемы, элемента, структуры системы.
4. Понятие управления. Обобщенная структурная схема системы управления.
5. Классификация систем управления в зависимости от степени участия человека в управлении.
6. Фазы управления предприятием. Их характеристика и взаимосвязи.
7. Понятие адаптивной системы. Виды адаптации.
8. Определение и особенности организационного управления.
9. Определение и особенности системного анализа.
10. Структура системного анализа: этапы, их содержание и особенности.
11. Сущность и содержание структурного анализа и структурного синтеза.
12. Сущность и содержание функционального анализа и функционального синтеза.
13. Сущность и содержание параметрического анализа и параметрического синтеза.
14. Сущность и содержание информационного анализа и информационного синтеза.

15. Основные структурно-логические элементы системного анализа и теории систем.
16. Понятия «цель», «средства» и их взаимосвязь. Закономерности целеобразования.
17. Основные структуры для представления системы целей: сетевая, иерархическая, матричная.
18. Сетевая структура для представления целей: назначение, элементы, графическое представление.
19. Дерево целей: назначение, элементы дерева целей, построение и графическое представление.
20. Определение модели, основные требования к моделям.
21. Моделирование как метод научного исследования: определение, общая схема процесса моделирования, особенность модельного эксперимента.
22. Классификация моделей по средствам построения.
23. Понятие, общие свойства и составные элементы математической модели.
24. Схема процесса математического моделирования: назначение и содержание этапов.
25. Назначение и особенности функциональных и структурных математических моделей.
26. Назначение и особенности оптимизационных математических моделей.
27. Общая характеристика и особенности имитационного моделирования.
28. Назначение, характеристика, состав, структура моделей типа «черный ящик».
29. Задача принятия решения: постановка, понятие альтернативы, критерии выбора.
30. Классификация задач принятия решений. Особенности задач разного класса.
31. Основные участники процесса принятия решения. Полномочия и функции ЛПР и эксперта.
32. Задача оптимизации со многими критериями: элементы задачи, ее особенности. Основные подходы, применяемые для устранения многокритериальности.
33. Задача векторной оптимизации. Понятие эффективного решения.
34. Типы шкал для характеристики и оценки альтернатив.

35. Критерии и способы выбора альтернатив: критерий Вальда, Гурвица, среднего, взвешенного среднего; выбор по главному критерию, выбор по критерию «эффект/затраты».
36. Принятие решений в условиях риска: особенности постановки задачи и критерий выбора в условиях риска.
37. Принятие решений в условиях неопределенности: особенности постановки задачи и критерий выбора в условиях неопределенности.
38. Экспертиза: назначение в задачах принятия решений, общая схема организации экспертизы.
39. Постановка и решение задачи экспертного оценивания значения показателя.
40. Постановка и решение задачи экспертного ранжирования альтернатив.
41. Постановка и решение задачи экспертного формирования исходного множества альтернатив.

ГЛОССАРИЙ

А

Адаптация — приспособление системы к реальным условиям.

Адекватность модели — соответствие модели моделируемому объекту или процессу.

Альтернатива — один из возможных вариантов выбора (см. *критерий*).

Анализ — 1. Этап целенаправленного исследования системы, при котором выполняется разбиение исходной системы на части (подсистемы) и проводится ее исследование по частям. Этап анализа в *системном подходе* предшествует этапу *синтеза*. 2. Детальное исследование объекта с целью определения состояний и взаимовлияний его элементов, их связей, а также их влияния на комплексное состояние и поведение объекта.

Д

Декомпозиция — прием *анализа*, который связан с разделением целого на части. Применяется для уточнения исходной цели (исходной сложной задачи), выделения в ней составных частей — подцелей (подзадач), в результате чего точнее определяются пути и способы достижения цели, а также показатели для оценки степени ее достижения.

Дерево целей — графическое изображение связи между *целями* системы и *средствами* их достижения, в качестве которых выступают подцели (на нижнем уровне — задачи). В дереве целей выделяются: главная цель, цели первого уровня (подцели главной); цели второго уровня (подцели целей первого уровня) и т. д.

З

Задача принятия решения — задача, которая возникает при необходимости (и возможности) выбора среди множества возможных вариантов действий для достижения поставленной цели. Постановка задачи принятия решения включает в себя множество из двух или более *альтернатив*, а также некоторый принцип оптимальности (критерий, правило выбора альтернатив), соответствующий поставленной цели.

Задача принятия решения в условиях неопределенности — *задача принятия решений*, в которой предполагается более одного исхода (последствия) для каждой *альтернативы* и нет информации о вероятностях возможных исходов. Т. к. при разных исходах полезность альтернативы может быть существенно разной, появляется неизвестность, какую альтернативу стоит выбрать для достижения цели (для наибольшей полезности в смысле поставленной цели).

Задача принятия решения в условиях определенности — задача принятия решений, в которой исходы (последствия) каждой из *альтернатив* предполагаются однозначно заданными, т. е. каждая альтернатива имеет один исход, который и определяет полезность этой альтернативы.

Задача принятия решения в условиях риска — задача принятия решений, в которой предполагается более одного исхода для каждой альтернативы и известна информация о вероятностях возможных исходов.

Задача экспертного оценивания — задача, в которой объектам (показателям, альтернативам) присваиваются некоторые численные значения, полученные путем опроса и обработки мнений *экспертов*.

К

Коэффициент веса эксперта — коэффициент, численное выражение которого отражает важность мнения эксперта, т. е. является весом экспертной оценки, которую дал эксперт. Коэффициент учитывается при комбинировании экспертных оценок, которые были даны разными экспертами.

Коэффициент относительной важности цели — коэффициент, отражающий относительный вклад цели данного уровня в достижение цели верхнего уровня (см. *дерево целей*).

Критерий — 1. Признак, условие, по которому выделяется наиболее предпочтительный вариант из различных вариантов решения, способов достижения поставленной цели — *альтернатив*. 2. Характеристика (*показатель*), количественное выражение которой служит для оценки степени достижения поставленной цели.

Л

Лицо, принимающее решение (ЛПР) — основной участник процесса принятия решения — человек или коллектив, обладающий возможностями и полномочиями для принятия решения, который осуществляет выбор альтернатив и несет ответственность за принятое решение.

М

Моделирование — исследование объектов с помощью их *моделей*. Процесс моделирования включает изучение моделируемой системы и разработку модели, изучение модели, интерпретацию знаний о модели и перенос этих знаний на моделируемую систему.

Модель — материальная или идеальная система, которая в определенных условиях может заменить *объект-оригинал* и служит для получения информации об объекте-оригинале и (или) других объектах, с ним связанных.

Модель знаковая — *модель*, выраженная с помощью знаков, символов.

Модель имитационная — *модель*, предназначенная для воспроизведения состояния и поведения некоторой *системы* (процесса) на основе воспроизведе-

ния логических, причинно-следственных и других взаимосвязей между событиями в моделируемой системе (процессе).

Модель компьютерная — *имитационная модель*, реализованная на компьютере. Компьютерная модель, как правило, предполагает отображение внешнего вида моделируемой системы в той или иной форме с помощью графических, аудиовизуальных средств.

Модель математическая — запись на некотором математическом языке существенных характеристик структуры, состава или функционирования моделируемой системы.

Модель предметно-математическая — модель, которая воплощена предметно и в которой подобие моделируемой системе достигается воспроизведением процессов, имеющих иную природу, но подчиняющихся тем же закономерностям, что и в этой системе.

Модель состава — *модель*, в которой отражается (воспроизводится) внутреннее содержание системы. Модель состава описывает, из каких подсистем и элементов состоит моделируемая система.

Модель структуры — *модель* для отображения взаимосвязей (отношений) между элементами моделируемой системы.

Модель типа «белый (прозрачный) ящик» — структурная схема системы, которая отображает все ее элементы, все связи между ними, а также ее входы и выходы.

Модель типа «черный ящик» — модель, которая отображает (воспроизводит) входы и выходы системы без представления информации о внутренних элементах и связях системы.

Модель функциональная математическая — математическая модель, которая описывает поведение системы безотносительно ее внутренней структуры. Функциональная модель отражает выходные реакции системы на входные воздействия.

Модель структурная математическая — *математическая модель*, описывающая внутреннее строение системы: набор ее элементов, отношения между ними и их свойства. Воспроизведение поведения системы не является целью структурной модели.

Модель физическая — модель, воплощенная предметно и основанная на физическом подобии с моделируемой системой.

Модельный эксперимент — исследование реальных объектов на их моделях. В модельном эксперименте модель выступает одновременно и средством, и объектом исследования. При этом модель может как применяться для замещения самого объекта, так и быть замещением некоторых внешних условий и (или) систем, связанных с исследуемым объектом в реальном мире.

О

Объект-оригинал — моделируемый объект; в моделировании — объект, модель которого построена (исследуется).

Объект управления — управляемая *система*. Часть *системы управления*, на которую оказываются целенаправленные воздействия — управляющие воздействия.

П

Подсистема — часть системы, обладающая своими функциями в ее назначении, своим входом, выходом, внутренним состоянием и связанная с другими подсистемами и (или) системами, внешними по отношению к данной.

Показатель — 1. Некоторая выраженная числом характеристика того или иного свойства объекта, процесса, альтернативы. 2. Величина, измеритель, который позволяет судить о состоянии объекта.

Показатель результативный — комплексный *показатель*, значение которого вычисляется на основе значения частных показателей — факторов.

Процесс принятия решения — последовательность принятия решения, которая включает в общем случае следующие этапы: разработка *альтернатив*; *выбор показателей* для отражения наиболее важных свойств альтернатив и формирование *критерия выбора* альтернатив; анализ и сравнение альтернатив по данному критерию; собственно принятие решения (выбор альтернативы); реализация принятого решения и контроль за исполнением решения.

Р

Решение — выбор одной или нескольких *альтернатив* из множества возможных вариантов.

С

Синтез — этап исследования системы в *системном подходе*, на котором по результатам этапа *анализа* устанавливаются отношения между частями целого (*подсистемами*), связывающие их входы и выходы друг с другом и с входами-выходами самой системы.

Система — совокупность объектов, объединенных связями так, что они существуют (функционируют) как единое целое, приобретающее новые свойства, которые отсутствуют у этих объектов в отдельности.

Система корпоративная информационная — *экономическая информационная система*, предназначенная для комплексной автоматизации предприятия, обеспечивающая совместную деятельность многих работников предприятия, сбор, учет, анализ и использование данных о финансово-хозяйственной деятельности предприятия в процессах управления.

Система организационная — множество людей (коллективов), взаимосвязанных определенными отношениями в процессе некоторой деятельности, созданных и управляемых людьми. Известные сочетания «организационно-техническая» система, «организационно-технологическая система» расширяют

понимание организационной системы средствами и методами профессиональной деятельности членов организаций.

Система организационно-экономическая — организационная система, участвующая в экономических процессах создания, распределения, обмена материальных благ.

Система техническая — взаимосвязанный, взаимообусловленный комплекс материальных элементов, обеспечивающих решение некоторой задачи. К таким системам можно отнести автомобиль, здание, ЭВМ, систему радиосвязи и т. п.

Система технологическая — система правил, норм, определяющих последовательность операций в процессе производства.

Система управления — система, в которой реализуются функции *управления*. В общем случае в системе управления выделяются две части — управляющая и управляемая система (*объект управления*).

Система экономическая — система производительных сил и производственных отношений, складывающихся в процессе производства, потребления, распределения материальных благ. **Социально-экономическая система** отражает дополнительно социальные связи и элементы, включая отношения между людьми и коллективами, условия трудовой деятельности, отдыха и т. п.

Система экономическая информационная — компьютеризированная система сбора, хранения, обработки и распространения экономической информации.

Системный анализ — 1. Практическая междисциплинарная совокупность методов и средств, предназначенных для решения проблем при исследовании, проектировании, обеспечении функционирования и управлении сложными (большими) системами. 2. Процесс всестороннего систематизированного изучения сложного объекта в целом, со всей совокупностью внешних и внутренних связей, проводимый с целью выяснения возможностей улучшить функционирование этого объекта.

Системный подход — 1. Методологическое направление в науке, основные задачи которого состоят в разработке методов исследования и конструирования систем. 2. Общий метод исследования объектов как *систем*, основанный на исследовании, анализе, синтезе объектов и процессов с учетом всех системообразующих взаимосвязей (внутренних и внешних) и известных целей исследования.

Событие — скачкообразное изменение состояния *системы* или процесса.

Средства достижения цели — объективные предметы или действия, включенные в структуру целеполагающей деятельности и обеспечивающие получение отдельного результата.

Статистическое моделирование — специальный метод исследования, в основу которого положена имитация процесса функционирования объекта на ЭВМ с реализацией случайных событий, величин и процессов, влияющих на объект изучения.

Стратификация — разделение системы целей на уровни абстракции. В результате такого разделения появляются **страты** — уровни представления целей с той или иной точки зрения. Так, одну генеральную цель при создании дерева целей можно разделить на страты, где будут собственные цели и подцели, отражающие разбиение генеральной цели с разных точек зрения, например, с точки зрения руководителя предприятия, руководителя службы, руководителя работ. Каждой страте может соответствовать свое дерево целей.

Структура системы — совокупность ее *элементов* и устойчивые связи между ними.

Структурный системный анализ — метод исследования (моделирования) системы или процесса, который начинается с общего обзора объекта исследования, а затем предполагает его последовательную поэтапную детализацию. Широко применяется в процессах анализа и проектирования программного обеспечения сложных информационных систем. В процессе структурного системного анализа формируется иерархическая совокупность информационных моделей (структурных схем, диаграмм и т. п.), каждая из которых с той или иной подробностью воспроизводит объект моделирования.

Сценарий — качественное описание с помощью тех или иных выразительных средств развития системы и ее состояния в будущем для определенных, наиболее вероятных условий внешней среды.

Т

Теория систем (общая теория систем) — логико-методологическая концепция исследования объектов, представляющих собой *системы*. Основными значениями теории систем являются формирование и исследование общих для различных предметных областей понятий, правил, принципов системного исследования.

У

Управление — воздействие на какую-то систему с целью достижения желаемых изменений в ее состоянии или поведении.

Ф

Фактор — *показатель* объекта или процесса, оказывающий влияние на функцию — *результативный показатель*.

Факторная модель — модель зависимости одних показателей от других (*результативного показателя от факторов*).

Ц

Цель управления — относящееся к будущему, предполагаемое действующим субъектом управления желаемое состояние (поведение) объекта управления.

Э

Экономический анализ — совокупность видов и методов *системного анализа* различных сторон хозяйственной деятельности субъектов (предприятий, организаций).

Эксперт — человек, который является высококвалифицированным специалистом в данной предметной области, имеет опыт и положительные результаты практической деятельности, обладает возможностями и желанием, позволяющими провести информационную подготовку процесса принятия решения. В *задачах экспертного оценивания* мнения экспертов используются для присвоения численных значений объектам.

Экспертиза — процедура опроса *экспертов* при решении задач *экспертного оценивания*, включающая в себя подбор экспертов, организацию опроса экспертов, комбинирование частных оценок экспертов, проверку на согласованность мнений экспертов.

Элемент системы — такая ее *подсистема*, которая в данном исследовании (при принятой точке зрения) на части не разбивается, т. е. внутренняя *структура* которой не исследуется.

Эмерджентность — появление у системы свойств, которые отсутствуют у ее элементов в отдельности. Эти новые свойства системы не являются просто суммой свойств ее элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ. М.: Юрайт, 2012. 679 с.
2. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ [Электрон. ресурс]: учебник для бакалавров. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2015. 462 с. URL: http://www.biblio-online.ru/thematic/?id=urait.content.EA8C65F8-A740-4F08-95A4-1921F3F5583C&type=c_pub
3. Глухих И. Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2009. 204 с.
4. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
5. Зыков В. В. Системный анализ: учеб. пособие. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008. 384 с.
6. Теория систем и системный анализ в управлении организациями / под ред. В. Н. Волковой, А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. 848 с.

Дополнительная литература

7. Адаптивные системы / под ред. Л. А. Растригина. Рига: Зинатне, 1972.
8. Амосов Н. М. Моделирование сложных систем. Киев: Наукова Думка, 1968.
9. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2000.
10. Берталанфи Л. Общая теория систем: обзор проблем и результатов // Системные исследования: Ежегодник. М.: Наука, 1969.
11. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Сов. радио, 1973.
12. Варфоломеев В. И., Воробьев С. Н. Принятие управленческих решений. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2001.
13. Васильев В. И., Романов Л. Г., Червоный А. А. Основы теории систем. М.: МГТУ ГА, 1994.
14. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2000.

15. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Наука, 1980.
16. Воробьев Н. Н. Теория игр для экономистов и кибернетиков. М.: Наука, 1985.
17. Глухих И. Н. Теория экономических информационных систем: учеб. пособие. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2009. 148 с.
18. Дегтерев Ю. И. Системный анализ и исследование операций: М.: Высшая школа, 1996.
19. Дик В. В. Методология формирования решений в экономических системах и инструментальные среды их поддержки. М.: Финансы и статистика, 2001.
20. Дрогобыцкий И. Н. Системный анализ в экономике: учеб. пособие для вузов. М.: Финансы и статистика, 2007.
21. Информационные технологии управления: учеб. пособие / под ред. Ю. М. Черкасова. М.: ИНФРА-М, 2001.
22. Логический словарь ДЕФОРТ / под ред. А. А. Ивина, В. Н. Переверзева, В. В. Петрова. М.: Мысль, 1994.
23. Макаров И. М., Виноградская Т. М. и др. Теория выбора и принятия решений. М.: Наука, 1982.
24. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических систем. М.: Мир, 1973.
25. Мухин В. В. Исследование систем управления. М.: Экзамен, 2002.
26. Ногин В. Д., Протодяконов И. О, Евлампиев И. И. Основы теории оптимизации. М.: Высшая школа, 1986.
27. Орлов А. И. Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений. М.: ИЦ МАРТ, 2005
28. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык SLAM II. М.: Мир, 1987.
29. Прыкина Б. В. Экономический анализ предприятия. М.: Юнити-Дана, 2003.
30. Растринин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Сов. радио, 1980.
31. Растринин Л. А. Адаптивное обучение с моделью // Информатика и компьютерная грамотность. М.: Наука, 1989. С. 207–216.
32. Романов А. Н., Одинцов Б. Е. Советующие информационные системы в экономике. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.
33. Савицкая Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. М.: ИНФРА-М, 2001.
34. Семенов М. И., Трубилин И. Т., Лойко В. И., Барановская Т. П. Автоматизированные информационные технологии в экономике. М.: Финансы и статистика, 2001.
35. Соболев И. М. Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1985.

36. Статников Р. Б., Матусов И. Б. Многокритериальное проектирование машин. М.: Знание, 1989.
37. Тимченко Т. Н. Системный анализ в управлении. М.: РИОР, 2008.
38. Бурков В. Н., Новиков Д. А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтез, 1999.
39. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978.
40. Фатхутдинов Р. А. Управленческие решения. М: ИНФРА-М, 2008.
41. Хохлачев Е. Н. Теоретические основы создания и применения АСУ. М.: МО СССР, 1987.
42. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука, М.: Мир, 1978.
43. Юкаева В. С. Управленческие решения. М.: Дашков и К, 1999.

Учебное электронное издание

Игорь Николаевич ГЛУХИХ

ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Второе издание, переработанное и дополненное

Редакторы

О. Рыбина, А. Казакова

Компьютерная верстка

О. Евглевская, В. Зыков



Подготовлено к электронному изданию 15.04.2016.

Объем 7,8 усл. п. л. Формат 60×84/16. Заказ 283.

Издательство Тюменского государственного университета

625003, г. Тюмень, ул. Семакова, 10

Тел./факс: (3452) 59-74-68; 59-74-81

E-mail: izdatelstvo@utmn.ru