

И.М. Бескровный

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОРГАНИЗАЦИЯХ**

Учебное пособие

**Москва
Российский университет дружбы народов
2012**

УДК 338.24
ББК 65.050.9(2)
Б

Бескровный, И. М.

- Б 53 Системный анализ и информационные технологии в организациях [Текст] : учебное пособие / И. М. Бескровный. – М. : РУДН, 2012. – 392 с.

Рассмотрена совокупность методов и моделей, используемых при создании и совершенствовании систем управления в организациях как производственной, так и непроизводственной сферы. Дано представление о математическом аппарате теории выбора альтернатив и принятия решений и изложены модифицированные методы построения алгоритмов и процедур выбора. Проведен анализ достоинств и недостатков различных структур и методов управления. Рассмотрены принципы создания адаптивных систем управления с использованием режимов мотивационного управления. На концептуальном уровне описан рыночный механизм мотивационного управления, действующий на всех уровнях, от индивидуального производителя до управления национальной экономикой. Дано представление о моделях и процедурах теории полезности и принципах их применения при коллективном выборе альтернатив, включая выборы кандидатов в органы управления.

Для студентов старших курсов, магистрантов и аспирантов, а также специалистов, занятых разработкой и внедрением информационных технологий в организациях.

ISBN 978-5-209-04874-9

УДК 338.24
ББК 65.050.9(2)

© Бескровный И.М., 2012

© Российский университет дружбы народов, Издательство, 2012

Введение

Эта книга — результат обобщения практического опыта и научных исследований автора. Подготавливаемый материал постоянно перерабатывался и обновлялся с учетом изменения жизненных реалий в стране, а главное — с учетом большого практического опыта, полученного при разработке АСУ скорой помощи Москвы, АСУ здравоохранения Москвы, АСУ «Россия», а также методов и систем отраслевого планирования и управления в Минрадиопроме СССР.

В предлагаемой книге описаны методы и модели, использование которых позволяет обеспечить обоснованность и эффективность решения, принимаемых при создании систем управления в организациях, что подтверждено в процессе практического применения. Описываемые модели и методы большей частью модифицированы и расширены по сравнению с общеизвестными версиями. Рассмотрены закономерности эволюционного развития систем, а также их скачкообразного перехода в другие системы.

В начале книги описаны основные методы (процедуры), применяемые в процессе системного анализа, первой и крайне важной из которых является последовательность этапов системного анализа. Пренебрежение к детальной проработке каждого из пяти описанных этапов обычно приводит к негативным последствиям.

Рассматривается одно из мало освещаемых в литературе направлений системного анализа — системная инженерия (СИ). Под этим термином подразумевается деятельность, ориентированная на создание любых объектов рукотворного мира. Проведен морфологический анализ области деятельности СИ и показано строение ее двухмерной морфологической модели, которая далее развернута в модель создания и разви-

тия рукотворного мира, являющегося необходимой средой обитания цивилизации и неизбежным продуктом ее деятельности.

Описаны различные концептуальные модели, используемые при анализе структурных характеристик организационных систем и динамических характеристик поведения организационной системы в процессе управления ее функционированием, а также обобщенный алгоритм проектирования организационной системы, являющийся, по сути, развитием описанной в главе 2 последовательности этапов системного анализа.

Достаточно подробно рассмотрены характеристики иерархических структур организационных систем. Обычно эта тема в литературе по системному анализу рассматривается недостаточно подробно. И совершенно напрасно. Иерархические структуры как механизм управления подобны обоюдоострому мечу — обладая набором несомненных достоинств, придающих системе управления достаточную эффективность и дееспособность, они в то же время наделены такими существенными недостатками, которые делают их крупномасштабное использование бесперспективным.

Приводится описание алгоритма формирования нормативного дерева целей и функций организационной системы. В отличие от обобщенной процедуры построения нормативной карты целей, применимой для анализа и проектирования любых искусственных систем, принцип построения дерева целей и функций специально разработан с учетом специфики организационных систем. Рассматривается мало освещенная в литературе проблема моделирования личности как активного элемента организационных систем. Обычно описания предлагаемых моделей в неявном виде подразумевают, что качество функционирования каждого узла или блока системы не зависит от его элементной базы. И даже если узел является антропологическим, то специфические свойства личности обычно не учитываются. Показано, что такой подход

неконструктивен. Качество функционирования антропологического звена зависит от специфических характеристик личности: ее *ориентированности* в окружающей среде, *инструктированности* относительно требуемого способа действий и *мотивированности* на реализацию этого действия. Поэтому, проектируя контуры управления, необходимо формировать поток сообщений так, чтобы человек на каждом рабочем месте получал бы *информацию*, что надо делать, *инструкцию*, как надо делать и *мотивацию*.

Приведены соотношения для количественной оценки исходной ориентированности, инструктированности и мотивированности личности в роли активного элемента системы и степени изменения этих параметров после получения управляющего сообщения. Это позволяет оценить информативность сообщений и обеспечить требуемую эффективность информационного обеспечения.

При рассмотрении основных режимов управления в организационных системах — штурвального, командного и мотивационного — показана предпочтительность последнего варианта, который постепенно должен стать доминирующим во всех организационных системах. Описана матричная система управления, рассмотрена взаимосвязь целей и функций организационной системы. Введено понятие адаптивной системы управления, которая в концептуальном плане сходна со следящей системой, используемой в САУ, и позволяет реализовать режим следящего управления в условиях больших временных задержек между управляющим воздействием на систему и ее откликом. Кроме того, адаптивная система позволяет обеспечить эффективное управление в условиях слабой формализуемости критериев качества ее функционирования.

Приводимое понятие об идеальной организационной системе дает возможность по-новому подойти к формированию набора нормативных показателей, введение которых может повысить эффективность управления в условиях де-

композиции сложных задач верхнего уровня и распределение заданий для нижележащих уровней.

Особое внимание уделено методам и моделям принятия решений, являющимся важной составной частью инструментария системного анализа. Рассмотрены двухмерные матрицы принятия решений в классической постановке и их расширенные модификации. Показаны предпочтительные области применения каждого из вариантов. При рассмотрении моделей принятия решений при детерминированных показателях ценности введена модифицированная модель, в которой сочетаются преимущества аддитивного и мультипликативного способов получения общего показателя ценности каждой из анализируемых альтернатив, и устраняются присущие им недостатки.

Описан новый подход к процессу принятия решений, основанный на использовании трехмерной матрицы, что значительно расширяет возможности более обстоятельного анализа сравниваемых альтернатив. Как иллюстрация эффективности режима мотивационного управления и его перспективности в книге описан рыночный механизм управления экономикой. Приводится наглядная модель мотивационного управления отдельным производителем, комплексом производителей в условиях как командной, так и рыночной экономики.

Завершает книгу глава, посвященная методам и моделям принятия кооперативных решений. Она в определенном смысле дополняет главу о рыночных механизмах управления. Дело в том, что многие решения общественной значимости не могут приниматься на основе только рыночных механизмов, поскольку кооперативные возможности не будут эффективно реализованы при децентрализованных действиях участников. Наиболее показательные примеры связаны с производством общественных продуктов, ценообразованием в естественной монополии, а также с принятием решений путем голосования.

Конечно, обстоятельное изложение всех основных методов, соответствующих содержанию каждой из глав, потребовало бы неизмеримо большего объема, чем тот, который был отведен для данной книги. Поэтому был выбран стиль изложения, который можно назвать конспективным. Если уж не удастся дать полные знания по каждому из затронутых вопросов, то, по крайней мере, читатель получит информацию о возможности использования в процессе системного анализа таких методов и моделей, о которых он, может, и знал, но над их эффективностью не задумывался. При сжатом стиле изложения все приводимые формулы достаточно строги и адекватны и можно надеяться, что во многих случаях хорошие результаты можно получить, пользуясь именно теми моделями, которые описаны в данной работе.

Глава 1. Основные положения системного подхода

1.1 Исходные понятия и определения.

Мир, в котором мы живем, един. Единство его состоит в материальности. Все явления и процессы действительности взаимосвязаны и взаимообусловлены. Объективными формами существования материального субстрата являются пространство и время. Важнейшая особенность нашего мира заключается в неравномерности распределения в пространстве и времени вещества, энергии и информации (разнообразия). Эта неравномерность проявляется в том, что компоненты материального субстрата (элементарные частицы, атомы, молекулы и т. д.) группируются, объединяются в относительно обособленные в пространстве и времени совокупности. Про-

цесс объединения имеет диалектический характер, ему противостоит процесс разъединения, дезинтеграции. Но факт существования объединений на всех уровнях организации материи говорит о доминировании интеграции над дезинтеграцией. В неживой природе факторами интеграции являются физические поля, в живых объектах - генетические, морфологические и другие взаимодействия, в обществе - производственные, экономические и другие отношения.

Общими задачами системных исследований являются анализ и синтез систем. В процессе анализа система выделяется из среды, определяется ее состав, структуры, функции, интегральные характеристики (свойства), а также системообразующие факторы и взаимосвязи со средой. В процессе синтеза создается модель реальной системы, повышается уровень абстрактного описания системы, определяется полнота ее состава и структур, базисы описания, закономерности динамики и поведения. Системный подход применяется к множествам объектов, отдельным объектам и их компонентам, а также к свойствам и интегральным характеристикам объектов.

Описания объектов как систем - системные описания - выполняют те же функции, что и другие прочие описания: объяснительную и предсказательную. Но главная их функция состоит в интеграции информации об объекте. Задачей системных исследований является, прежде всего, выработка соответствующей теоретико-познавательной технологии изучения явлений как систем и познания системности самого мира. Но системный подход не самоцель. В каждом конкретном случае его применение должно давать реальный, вполне ощутимый эффект. Системные описания служат средством решения многих теоретических и прикладных задач, встающих сегодня перед специалистами по информационным технологиям в любой сфере человеческой деятельности.

Системный подход в интеллектуальной деятельности культурного человека также ограничен и естественен как ис-

пользование правильной литературной речи, приятные манеры, изящная походка и осанка, свободные и непринужденные жесты и мимика и прочие признаки, наличие которых дает веское основание назвать данного человека культурным. Конечно, наличие этих признаков не обязательно является следствием того, что человек проходил какой-то специальный курс обучения. Талантливый, органичный человек, пребывая в культурном окружении, впитывает элементы культуры и без специального обучения, но, конечно, не в том объеме, какой мог бы получить, при наличии присущего ему таланта, пройдя определенный курс такого обучения.

Легко представить человека, отлично владеющего иностранным языком (или даже несколькими) и не обучавшегося этому на специальных курсах. Человек, обладающий врожденным абсолютным музыкальным слухом и прекрасным голосом, может порадовать слушателей замечательным пением. Однако, этот человек не может стать оперным певцом без специального обучения. И уж, конечно, никакой прирожденный талант и даже гениальность не выведут, сами по себе, человека на балетную сцену и не поставят его за дирижерский пульт. Профессиональных высот в этих областях деятельности (как, впрочем, и во всех остальных) можно достичь только в том случае, если природный талант подкрепляется и развивается глубокими профессиональными знаниями, полученными в результате упорного изучения.

Все вышесказанное в полной мере относится и к системному подходу. Практически любой человек, в той или иной мере, изначально владеет навыками системного подхода. Но, глубинное понимание возможностей этого подхода, а главное – освоение методологии его использования – возможны только на основе серьезного изучения и накопления опыта его применения.

Системный подход - это методологическая концепция или способ организации мыслительной деятельности человека. Суть его состоит в том, что все исследуемые (анализи-

руемые) объекты, процессы, явления рассматриваются как системы. При этом все наблюдаемые процессы и все причинно-следственные связи выводятся (выявляются) как производные из свойств этой системы.

Системный подход можно не исповедовать, но его невозможно не применять, проводя сколь-нибудь содержательный анализ. У всех великих врачей мира, начиная от Гиппократа, все их основополагающие идеи формировались на основе основных принципов системного анализа. Все великие литературные сыщики мира: Шерлок Холмс, комиссар Мэгре, Эркюль Пуаро (точнее авторы, их придумавшие - Коннан Дойль, Жорж Сименон, Агата Кристи) свои расследования проводили на основе принципов системного подхода. Хотя ни великие врачи, ни великие сыщики об этом, скорее всего, не подозревали. Так же как не подозревал один из персонажей Мольера о том, что он всю жизнь говорил *прозой* (Мольер “Мещанин во дворянстве”).

Для великих мыслителей умение применять принципы системного подхода является ярко выраженным свойством их ума, присущим им от рождения, так же как для многих выдающихся спортсменов присущая им сила, ловкость, быстрота и т. д. являются качествами врожденными. В то же время известно, что многие выдающиеся спортивные результаты были достигнуты людьми, не только не обладавшими врожденными спортивными данными, но, вообще не имевшими никаких показаний к занятию спортом.

Так всемирную известность в начале прошлого века приобрела пловчиха из Австралии, перенесшая в детстве заболевание полиомиелитом и, казалось бы, обреченная судьбой на существование инвалида. В шестидесятые года прошлого века на ледовых площадках блистала замечательная американская фигуристка Пегги Флеминг, так же страдавшая в детстве от последствий полиомиелита. И таких случаев известно множество. То есть упорные, настойчивые трениров-

ки и *обучение* помогали не только компенсировать отсутствие врожденных спортивных качеств, но и успешно преодолеть прямые противопоказания к занятиям спортом.

Все вышесказанное имеет самое непосредственное отношение и к умению применять принципы системного анализа на практике. Даже великим мыслителям с врожденным чувством системного подхода отсутствие знаний о технологии системного анализа (о «рутине») не позволяло сделать найти обоснованное решение ряда логических проблем. Пример тому - нерешенные парадоксы Эвбулита: Куча (Сорит), парадокс лжеца, парадокс лысого. Между тем, использование системного подхода при их анализе всегда приводит к позитивным результатам [2, 3]. Поэтому, для любого исследователя, руководителя работ, организатора принципы системного подхода весьма полезно изучить, и, затем уже осознанно применяя их на практике можно достичь весьма достойных результатов.

Приступая к рассмотрению основ системного подхода, определим, что такое *система* и, что значит, рассматривать анализируемый объект как *систему*. Для построения конструктивного определения понятия *система* необходимо определить такие базовые понятия системного подхода, как *окружающая среда, объект, свойства, отношения*.

Объект

В процессе системного анализа *Объектом* познания является часть реального мира, которая выделяется и воспринимается как единое целое, обладающее определенной совокупностью признаков. Объект может быть материальным и абстрактным, естественным и искусственным.

Объект - любая выделяемая часть (субстанция) окружающего нас мира. В общем случае объекты - все то, из чего состоит окружающая среда.

Окружающая среда

Понятие окружающая среда возникает тогда, когда мы материально или умозрительно проводим замкнутую границу между неограниченным и некоторым ограниченным множеством элементов.

Те элементы с их соответствующей взаимной обусловленностью, которые попадают внутрь этой границы, — могут образовывать систему. Те элементы, которые остались за пределами границы, образуют множество, называемое в теории систем «системным окружением» или просто «окружением», или «внешней средой».

Под этим термином понимается совокупность тех элементов, оставшихся за границей выделения, свойства которых непосредственно влияют на свойства выделенной совокупности элементов. Так, например, для компьютера существенными свойствами окружения являются температура и влажность воздуха в помещении, а мебель и персонал, находящийся в помещении, к существенному окружению не относятся. Для музыкантов или певцов, выступающих на сцене, к параметрам существенного окружения следует отнести акустические характеристики помещения. Для помещений микрoeлектронного производства крайне важна повышенная чистота воздуха и т. д.

Любой объект обладает бесконечным набором свойств различной природы. Но, на практике в процессе познания объекта взаимодействие осуществляется лишь с ограниченным множеством свойств, лежащих в пределах возможности их восприятия и необходимости их выявления для цели познания. Поэтому образ объекта всегда задаётся на *конечном* множестве отобранных для наблюдения свойств.

Объект может быть элементарным или составным. Определяющими свойствами *элементарного* объекта являются его *целостность* и *неделимость*, воспринимаемые интуитивно. Противоположностью элементарного объекта яв-

ляется *составной* объект, в котором могут быть выделены отдельные части, каждая из которых является либо элементарным объектом, либо, в свою очередь, составным объектом. В качестве примера на выбранном уровне рассмотрения можно принять, что такие объекты, как стальной шарик, запечатанный конверт, отдельная звезда в созвездии и т. п. обладают *неделимостью* и являются элементарными объектами. В дальнейшем определение *элементарный* будет опускаться и употребляться понятие *простой объект* или просто объект (там, где это не вызывает недоразумений).

В общем случае, объектов абсолютно неделимых в природе не существует. При анализе любого объекта, каждая выделенная (реально или мысленно) часть объекта сама является *объектом*. Таким образом, любой объект можно рассматривать как *составной*, т.е., состоящий из *элементарных* объектов. При этом понятия *составной* (*сложный*) и *элементарный* являются сугубо относительными и зависят лишь от позиции, с которой данный объект рассматривается. Например, в астрономии, в теории движения планет, весь земной шар со всеми его сложностями структуры может рассматриваться как простая материальная точка, обладающая единственным свойством - массой, а в ядерной физике элементарная частица - электрон, может рассматриваться как сложный объект (система).

Свойства

Объект можно выделить (отделить, отличить от другого объекта) лишь в том случае, если есть у него некое отличительное *свойство*. Иными словами:

Свойство (свойства) - все то, что отличает (позволяет отличить) один объект от дру-



"Кто из вас тут по обвинению в компьютерном взломе?"

гого. Любой объект характеризуется своим специфичным набором свойств. Дать исчерпывающий перечень свойств, позволяющий безошибочно выделить данный объект из совокупности других объектов - значит идентифицировать данный объект. Нельзя говорить о двух (или более) объектах с абсолютно идентичными свойствами, поскольку при полной идентичности все свойств (включая месторасположение) это будет один и тот же объект.

Цель любой науки - познание. Познание объекта есть познание его свойств и отношений между ними. В процессе познания сами свойства выступают как объекты познания и при этом сами могут обладать определенными свойствами, важнейшими из которых являются *присущность, проявляемость и выявляемость*. Свойство присущности является безусловно-объективным. То есть, если некое свойство присуще данному объекту, то эта присущность не зависит ни от среды, в которой находится объект, ни от взаимодействия объекта с другими объектами, ни, тем более, от наличия какого-либо субъекта, находящегося в каком бы-то ни было отношении к данному объекту. Конечно, при том условии, что среда и характер ее взаимодействия с объектом таковы, что не разрушают объект. Так, кристалл поваренной соли сохраняет присущее ему свойство твердости до тех пор, пока остается именно кристаллом. Будучи помещенным в воду, кристалл растворяется в ней, то есть исчезает как объект (точнее трансформируется в другой объект - совокупность молекул). Если блестящий камешек (украшение), весьма похожий на бриллиант, не оставляет на стекле царапин, значит – это страз, поскольку не имеет присущей алмазу твердости.

Прежде чем определять понятия проявляемости и выявляемости, необходимо ввести понятие отклика.

Откликом объекта на внешнее воздействие является некоторое изменение его свойств или некоторое совершаемое объектом действие, которые осуществляются как следствие приложенного к объекту воздействия.

Тогда проявляемость свойства может быть определена следующим образом:

Проявляемость есть способность некоего свойства выступать в качестве отклика в процессе взаимодействия объекта с внешней средой.

Заметим, что к внешней по отношению к объекту среде относится и индивидуум, изучающий этот объект.

Проявляемость является условно-объективным свойством. Наблюдается при взаимодействии исследуемого объекта с другими объектами. При этом степень проявляемости существенно зависит от характера этого взаимодействия. Так, хотя электропроводность золота объективно присуща ему во всех условиях, при которых золото существует как вещество, она может проявиться лишь тогда, когда золотой предмет становится элементом электрической цепи. Открытая Марией Склодовской-Кюри радиоактивность проявилась впервые лишь тогда, когда радиоактивный образец оказался вблизи фотографической пластины.

Существует широкий класс свойств, которые не могут проявлять себя в качестве отклика, но, тем не менее, играют важную роль в процессе взаимодействия. Такие свойства, как наличие определенного индекса на конверте или местоположение звезды на небесной сфере не могут проявиться в процессе взаимодействия, но могут быть *выявлены* наблюдателем (или автоматическим устройством). Во всех случаях свойство, обладающее выявляемостью, выступает не в качестве отклика на внешнее воздействие, а, наоборот, само создает определенный отклик в выявляющей системе, Таким образом:

Выявляемость есть способность свойства создавать определенный отклик в выявляющей системе, точнее - выступать продуцентом этого отклика.

Как уже указывалось, выявляемость есть условно-объективное свойство, существенно зависящее от окружения и характера взаимодействия. Два идентичных по форме, цве-

ту и другим внешним признакам сосуда, один из которых содержит лекарство, а другой - яд, обладают свойством выявляемости, если они снабжены этикетками с надписями или соответствующей маркировкой. Однако реализация этой выявляемости, то есть, создание адекватного отклика у индивида, возможна лишь при условии, что индивид обладает зрением, грамотен, знает язык, на котором сделаны надписи, либо знаком с системой маркировки.

В свою очередь, как проявляемость, так и выявляемость любого свойства имеют меру присущности. Эта мера может быть либо объективной, либо субъективной. Объективной является мера, для которой можно установить общепризнанный эталон, либо несколько широкоупотребительных эталонов, поддающихся объективному сопоставлению. Примером свойств, проявляемость которых имеет объективную меру, является вес, протяженность, твердость, растворимость, электропроводность и т. п. В большинстве случаев объективная мера присуща таким свойствам, для которых свойство проявляемости преобладает над свойством выявляемости.

Для тех свойств, для которых преобладающим является свойство выявляемости, мера этой выявляемости является, как правило, субъективной. К субъективным свойствам относятся, например, запах, вкус, красота, привлекательность, удобство, надежность. К ним же относятся и, особо интересующие нас, такие свойства, как сложность, *организованность* и *системность*, определения которым даются в последующем.

Свойства элементарного объекта

Итак, познание элементарного объекта есть познание его свойств на основе их проявляемости и выявляемости. И одним из способов познания является непосредственное наблюдение и (или) регистрация откликов, возникающих в изучаемом объекте или измерительной системе, которую в простейшем случае представляет совокупность органов

ощущений индивида, при определенных (фиксированных) условиях. В зависимости от степени проявляемости изучаемого свойства в определенных условиях оно становится наблюдаемым и, в предельном случае, измеряемым. Такой способ выявления свойств является экспериментальным исследованием.

Так, бросая стальной шарик на плиту и измеряя высоту подскоков, можно определить его упругость, окуная в раствор кислоты - коррозиестойчивость и т. п. Подобным способом можно изучать свойства и довольно сложных объектов. Например, подавая прямоугольный импульс на вход усилителя можно измерить его коэффициент усиления и определить переходную характеристику и передаточную функцию и т. п.

Следует подчеркнуть, что экспериментальное исследование не обязательно подразумевает специальную (нарочитую) организацию условий для проявления тех или иных свойств. Экспериментальным является и такое исследование, когда индивид наблюдает проявление свойств объекта в условиях, не зависящих от его желаний и намерений, и не может влиять на изменение этих условий. При этом проявление свойств объекта может наблюдаться как в настоящем, так и в прошлом - разумеется, в том случае, если это проявление в прошлом как-то регистрировалось. Примером такого экспериментального исследования является изучение эффективности некоторого метода лечения на основе статистической обработки данных о результатах его применения за прошлые годы (ретроспективный анализ).

Если при экспериментальном исследовании объект рассматривается как элементарный, то в результате такого исследования можно узнать только те свойства, которые можно наблюдать как *отклики* на то, или иное воздействие, либо выступающие продуцентами откликов в измерительной системе. Идентифицировав объект и отнеся его к определенному классу известных объектов, к его выявленным свойствам

следует добавить те, которые в эксперименте не наблюдались, но имманентны данному классу объектов. Например, идентифицировав (по форме, весу, блеску), что данный объект есть стальной шарик, мы знаем *a-priori*, что он обладает упругостью - и теперь нет нужды бросать его на плиту, чтобы убедиться в наличии у него этого свойства.

Но вот изменилась какая-либо характеристика объекта - например, из стального шарика сделали кубик. Или к объекту приложили другое воздействие: на вход того же усилителя подали не прямоугольный импульс, а сигнал другой формы. Каким будет отклик объекта в этой новой ситуации? Для элементарного объекта новые отклики необходимо изучать только в новом экспериментальном наблюдении.

Однако это не единственный (а главное - не самый эффективный) способ изучения объектов, а только первая, простейшая ступень их познания. Для расширения наших знаний о свойствах объекта и повышения эффективности их исследования необходим переход на следующую ступень познания объекта - рассмотрение его как составного объекта, части которого сами обладают определенными свойствами, характер которых, а также характер отношений между ними и определяют свойства объекта в *целом*.

Отношения

Сложный объект образуется из простых объектов таким образом, что простые объекты ставятся в определенные отношения друг с другом (пространственные, временные, физико-химические, причинно-следственные и др.). Таким образом:

Отношения - все то, что позволяет из совокупности простых объектов создавать новый объект.

1.2 Составной объект, его свойства. Система

Итак, при определенных условиях, некая совокупность элементарных объектов, поставленных в определенные от-

ношения, могут образовать новый объект - *составной*. Основным свойством, отличающим составной объект от простой совокупности элементов является *целостность*. Целостность может трактоваться весьма широко, начиная от простейшего случая механической целостности, когда из совокупности деталей в результате сборки создают табурет, ружье, автомобиль и т. п., и включая такие затруднительные в определении примеры системной целостности такие, как целостность созвездия Большая Медведица, целостность совокупности музыкальных звуков, образующих гамму и т.п.

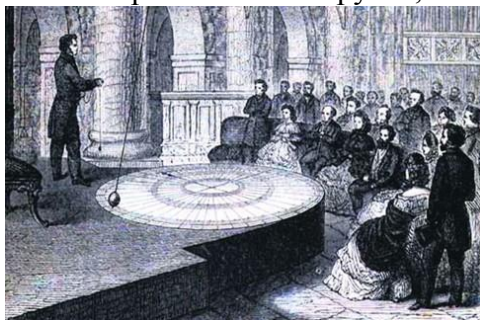
Однако во всех случаях судить о *целостности* составного объекта можно лишь тогда, когда есть хотя бы одно свойство, которое может быть соотнесено лишь с составным объектом *в целом*, и не присуще отдельным его элементам или любой иной их совокупности, взятым в иных отношениях.

Целостность - свойство составного объекта, обеспечивающая присущность, проявляемость и (или) выявляемость таких новых свойств, которыми не обладают образующие составной объект элементы, взятые в отдельности или в иных совокупностях и отношениях.

Рассмотрим в качестве примера маятник. С маятником можно провести серию исследований с целью выяснения зависимости его свойств от свойств грузика, нити и стержня и отношений между ними. В итоге этих исследований можно установить, что основные свойства нового объекта - амплитуда и частота колебаний - зависят только от веса грузика и длины его подвески зависят от материала, из которого он изготовлен, и, в широких пределах, не зависит от формы грузика. Более того, выявляется такое замечательное свойство маятника, которое и от этих двух параметров не зависит. Оказывается при любых соотношениях грузика и длины его подвески маятник строго сохраняет первоначально заданную плоскость колебаний. На этом замечательном свойстве в свое

время было основано блестящее доказательство того, что *Земля вертится!* (Маятник Фуко).

При подобном изучении составной объект рассматривается как *система*, элементами которой являются грузик, нить и стержень, к которому они подвешены. Отношения между телами в данной системе задаются длиной подвески грузика. А *система*, которую перечисленные элементы образуют, приобретает принципиально новые свойства. Эти свойства не присущи ни одному из элементов, взятых в отдельности, ни любой их совокупности, в которой эти элементы взяты в иных отношениях.



Если рассматривать маятник как *изученную систему* с известными системными свойствами, то нам нет необходимости заново изучать ее свойства каждый раз при изменении *существенных свойств* ее элементов и *существенных отношений* между ними. Теперь, для каждого заданного набора элементов, их свойств и отношений между ними в системе “маятник” можно заранее предсказать амплитуду и частоту колебаний.

Этим простым примером иллюстрируется суть системного подхода, которому можно дать еще одно определение: *Системный подход - научный метод познания, суть которого состоит в том, что свойства объекта рассматриваются в их причинно-следственной связи со свойствами его составных частей и отношений между ними.*

При этом к существенным частям, свойствам и отношениям относятся только те, которые входят в непрерывную причинно-следственную цепь событий и откликов, то есть являются их продуцентами.

Одна область применения системного подхода есть процесс познания свойств объекта на основе анализа элементов, из которых состоит изучаемый объект, их свойств и отношений между ними (*анализ систем*). Другая область применения системного подхода состоит в поиске таких вариантов целенаправленного изменения свойств элементов и отношений между ними, которые обуславливали изменение свойств системы в заданном направлении (*синтез или конструирование систем*).

Свойство маятника изменять определенным образом амплитуду и частоту колебаний в зависимости от изменения существенных свойств элементов есть проявление присущей ему *эмерджентности*.

Эмерджентность - свойство объекта, обуславливающее проявляемость и (или) выявляемость причинно-следственных связей между его системными свойствами и существенными (системообразующими) свойствами его элементов.

При этом: *Системообразующими являются те свойства элементов, изменения которых являются продуцентами изменений системных свойств объекта.*

Эмерджентность, как и любое другое свойство объекта, имеет такие свойства, как *присущность, проявляемость и выявляемость*. Присущность эмерджентности (наличие системных отношений) является безусловно-объективным свойством, а проявляемость и выявляемость - условно-объективными. При этом выявляемость, в большинстве случаев, не имеет объективной меры. Примером объекта, системность которого имеет субъективную меру выявляемости, является совокупность симптомов при диагностике заболевания, совокупность улик преступления. Яркие примеры проявления системности в окружающей среде наблюдаются, начиная с прошлого столетия, когда масштабы воздействия человека на существенные свойства ее элементов заметно возросли.

Известны, например, факты, когда уничтожение гнуса в тайге приводило в итоге к гибели таежных массивов, поскольку с исчезновением гнуса исчезали лишившиеся основного корма птицы. Это имело следствием бурное размножение насекомых - вредителей, которые и губили тайгу на корню. Пересыхающие реки, обмелевший, погибающий Балхаш, разрушающиеся памятники древности, развал некогда могучей экономики СССР под ударами бездарной “перестройки”, растущая интенсивность сердечно-сосудистых заболеваний, лавина межнациональных конфликтов, “внутренних” войн, разгул организованной преступности и т. д. - все это объективные проявления системности, которая далеко не всегда оказывается выявленной и не всегда поддается выявлению на нынешнем уровне наших знаний о сущности и свойствах производственно-технологических и социально-экономических процессов и систем.

Теперь мы подошли вплотную к тому, чтобы сформулировать определение понятия *система*. Как было показано, с позиций системного подхода объект может рассматриваться как система тогда, и только тогда, когда в нем выявлено хотя бы одно принципиально новое свойство. Вышесказанное и положено в основу определения понятия *система*.

Система - совокупность объектов и свойств, связанных такими отношениями, что образуется новый объект, обладающий свойствами, не присущими ни одному из составляющих объект элементов в отдельности, ни любой их совокупности, взятых в иных отношениях.

В общем случае, требование, чтобы ни один из элементов системы, взятый в отдельности, не носил признаков свойств, присущих системе в целом, является чрезмерно строгим и для сложных систем, пожалуй, не выполнимым. Дело в том, что в подавляющем большинстве случаев, в дуальной паре оценок *присуще – не присуще* переход от одной оценки к другой происходит не по принципам бинарной ло-

гики (да – нет), а плавно, по мере изменения качества наблюдаемого свойства.

Рассмотрим, например, скрипку, как систему, из которой можно извлекать музыкальные звуки. Это свойство достижимо тогда, когда два основных компонента скрипки – набор струн (аккорд) и корпус поставлены в соответствующее отношение. Из корпуса без струн извлекать музыкальные звуки невозможно. Но, из набора струн, натянутого, скажем, на деревянную планку, извлекать музыкальные звуки вполне возможно. Конечно, это будут звуки совершенно иного качества, чем издают струны, соединенные с настоящим скрипичным корпусом, особенно если это корпус работы известных старинных мастеров. Но, понятно, что не приходится говорить о том, что свойство скрипки – возможность извлекать из неё музыкальное звучание является принципиально новым, присущим только самой скрипке и не присущим отдельным ее компонентам. Так что же, скрипка не является системой?

Системой она, конечно, является. Только системой более общего порядка. Такие системы подходят под более общее определение:

Система — это полный, целостный набор элементов (компонентов), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы.

Важным понятием системного анализа является понятие «минимальной системы».

Минимальной называется такая система, в которой удаление хотя бы одного из элементов или изменение некоторых его свойств, влияющих на характеристики системы, приводит к разрушению системы.

Как уже говорилось, те свойства элементов, которые влияют на характеристики системы, называются *системообразующими* свойствами. Так, в примере с маятником, системообразующими свойствами являются длина нити и масса грузика, поскольку именно они определяют основные харак-

теристики гармонических колебаний - их частоту и амплитуду. Остальные характеристики элементов - цвет нити, форма грузика (шарик, кубик, диск и т. п.) и др. на системные характеристики маятника не влияют и являются несущественными, а стало быть, могут не учитываться при его системном анализе.

Одна из составляющих искусства системного анализа как раз и состоит в умении отбросить несущественные элементы с тем, чтобы они не усложняли чрезмерно процесс анализа. Именно *искусства*, поскольку формальных методов для такого отсекаания не существует, а сам процесс отсекаания несущественных элементов и свойств, может изобилловать каверзными ловушками.

Так, в нашем простейшем примере с маятником габариты грузика являются несущественным свойством лишь до поры до времени. Ибо, если сделать грузик из весьма легкого материала (пенопласта, например), то существенным станет сопротивление воздуха движению грузика и его (сопротивление воздуха) придется учитывать при расчете характеристик гармонических колебаний. То же относится и к материалу, из которого изготовлена нить. Пока этот материал обладает достаточной жесткостью (нерастяжимостью) его характеристики несущественны. Но если материал окажется эластичным и длина нити может изменяться под воздействием грузика в процессе колебаний, то характер процесса существенно изменится и его анализ чрезмерно усложнится.

Понимание значимости таких свойств как присущность, проявляемость и выявляемость у замеченных особенностей поведения исследуемых объектов или процессов является важной компонентой искусства системного анализа. Сюда относится, например, умение замечать (фиксировать) даже слабое проявление тех признаков, анализируемого объекта или процесса, которые данному объекту или процессу присущи. Это важно, например, при диагностике заболевания. Суть постановки диагноза и состоит в том, чтобы, наблюдая

наличие проявляемых признаков (кашель, высокая температура, рвота, кровотечение, боль в желудке и т. п.) и выявляемых признаков (результаты УЗИ, анализ рентгенограммы, анализ крови и т. п.), выделить такую их совокупность, которая в наибольшей мере присуща тому или иному конкретному заболеванию.

Фиксация признаков или особенностей поведения, не присущих исследуемому процессу или событию, но наблюдаемых при исследовании, в не меньшей мере важна при анализе. Например, при расследовании преступления, выявление некоторых особенностей способа совершения преступления, не присущих подозреваемому индивиду (не тот «почерк»), ставит под сомнение его причастность к преступлению.

Тот же подход – всесторонний учет присущности или неприсущности наблюдаемых признаков, в полной мере применим при анализе функционирования структурных объектов социальной сферы и здравоохранения. Так, например, на первом этапе внедрения системы мониторинга потоков больных в тридцати московских больницах, реализованного на основе сбора и компьютерной обработки данных о поступлении и выписке, было выявлено, что в некоторых гинекологических отделениях средний койко-день составлял три - четыре дня. Это означало, что во всех таких отделениях функционировали абортарии и не всегда на нормативной основе.

Подобные ситуации (элементы функционирования, не присущие нормативно объектам данного типа) могут быть выявлены и при анализе любых объектов социальной сферы. Возвращаясь к определению понятия *система*, следует отметить, что, в общем случае, резкой грани система - не система не существует. Все объекты - суть системы, но не во всех отношениях. Для любого объекта можно найти (выделить) свойство (группу свойств), позволяющих рассматривать данный объект как систему, и, наоборот, любая суперсложная

система имеет свойства, присущие ей как простому (не составному) объекту. Например, суперЭВМ при транспортировке будет характеризоваться лишь габаритами, весом, чувствительностью к толчкам и т. п. - как простой стеклянный предмет.

1.3 Элементы классификации систем

Большая часть формализованных приемов, составляющих основу системного анализа, имеет применимость, ограниченную определенным классом систем, и может быть эффективно использована лишь при анализе систем определенного класса. Поэтому, прежде, чем переходить к рассмотрению этих методов, необходимо получить определенное представление о существующих классах систем и специфических особенностях этих классов.

Кроме того, поскольку предметом нашего детального анализа являются организационные системы, то до рассмотрения их специфических особенностей целесообразно определить место указанных систем в общей совокупности систем всевозможных классов. Единой общепризнанной схемы классификации систем не существует. Структура классификационной схемы зависит от того, по какому основанию (признаку) производится декомпозиция. Если в качестве основания декомпозиции выбран состав элементной базы (субстрат системы), то классификационная схема примет вид, представленный на Рис. 1.1.

Система относится к классу материальных, если множество ее элементов (**m**) - материальные объекты. Биологическая система состоит из множества биологических звеньев (**b**), техническая - из множества технических элементов или звеньев (**t**). Эргатическая система может состоять из звеньев двух типов: *антропологических* - (**a**) и *эргатических* - (**e**). Понятия антропологического (человеческого) и эргатического (человеко - технического) звеньев определяются в инженерной психологии и теории эргатических систем.

Два типа систем – социально-экономические и социальные, отличающиеся друг от друга своими функциональными назначениями, с позиций данной классификационной схемы могут быть объединены общей рубрикой – *организационные системы*.



Рис. 1.1. Фрагмент классификационной схемы по составу элементной базы

Далее, из множества организационных систем можно выделить, по крайней мере, два подмножества: системы *технологического* управления и системы *организационного* управления. Системы технологического управления в качестве элементной базы также имеют в своем составе эргатические звенья и предназначены для реализации производственных процессов выпуска некоторого продукта. Этим продуктом могут быть материальная продукция, энергия, информация, услуги. В машиностроении к системам технологического управления можно отнести технологические производственные участки, специализированные цехи и другие виды специализированных производств. Назначением систем ор-

ганизационного управления является координация (согласование) деятельности систем технологического управления по решению комплексных проблем. Таким образом, главным признаком организационной системы по составу элементной базы является тот факт, что в ней работают люди. Этот признак позволяет безошибочно отделить все те системы, которые не являются организационными, однако, не достаточно информативен в отношении специфики управления в оргсистемах. Для того чтобы расширить представление специфике организационных систем, целесообразно рассмотреть классификационную схему, построенную по другому признаку. В связи с этим представляет интерес такая классификация, которая позволяет четко представить себе место организационных систем среди прочих по уровню их развития, который характеризуется мерой зависимости системы от воздействия окружающей среды. Пример такой классификационной таблицы представлен на рис. 1.2.

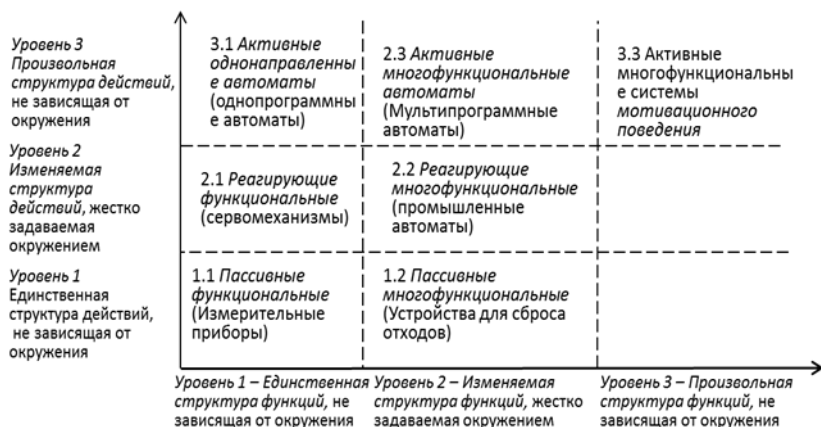


Рис 1.2 Классификация систем по степени независимости структуры действий и функций от окружения

На рис. 1.2 по осям абсцисс и ординат отложены меры управляемости различных систем со стороны окружающей среды. При этом уровень по оси абсцисс характеризует

управляемость *функцией* системы, а по оси ординат - управляемость *структурой ее действий*. Низший уровень *управляемости* (уровень 1) - соответствует *невосприимчивости* системы к изменениям окружающей среды, когда система лишена органов, чувствительных к этим изменениям, и, потому, сохраняет раз и навсегда заданную функцию или структуру действий в любом окружении. Средний уровень (уровень 2) соответствует жесткой управляемости, когда каждому специфичному окружению соответствует жестко заданная для этого окружения функция либо структура действий системы. И, наконец, высший уровень развития (уровень 3) соответствует системам, которые воспринимают изменения окружающей среды, но реагируют на них непредсказуемо.

Они могут осуществлять одинаковые функции и иметь одинаковую структуру действий в разных окружениях и, наоборот, осуществлять самые разнородные функции или реализовать разнородные структуры действий в одном и том же окружении. То есть они совершенно независимы от окружения. Системы класса 1.1. *Функция - продуцирование некоторого однозначно определенного результата, независимо от структуры и окружения*. Пример: Часы (солнечные, водяные, песочные, механические, электронные и т. п.) - показывают время в Африке, на Северном полюсе, в космосе, днем, летом, и т. д. То есть, их показания независимы от структуры и от окружения, если, конечно, окружение не разрушает их как систему (высокая температура, влага, тряска и т.п.).

В дальнейшем будем различать функцию как *целевое назначение* и *имманентную функцию*, осуществляемую системой как неотъемлемый результат (следствие) своего действия, и тогда мы приходим к системам следующего класса.

Системы класса 1.2. *Функция изменяемая, жестко задаваемая окружением*. Пример: Цементный завод в процессе работы производит большое количество цементной пыли. Труба этого завода в структуре технологического процесса

осуществляет одну функцию - сбрасывает отходы (*целевая функция*), а в структуре прилегающей территории - загрязняет окружающую среду (*имманентная функция*).

Системы класса 1.3. Такие системы, которые имели бы *единственную жестко заданную структуру действий*, неизменяемую при изменении окружения, и, в то же время, могли бы *произвольно, независимо от окружения изменять свою функцию*, неизвестны.

Системы класса 2.1. *Имеют изменяемую структуру действий, жестко задаваемую окружением*, то есть для каждого окружения устанавливается своя специфичная структура действий. Пример: Ступенчатый регулятор температуры в холодильнике. При температуре внутри холодильника ниже заданного порога холодильник пассивно “сохраняет” холод - за счет теплоизоляции (не “пускает” тепло из окружающей среды вовнутрь холодильника). А когда температура все-таки поднимается выше заданного порога, включается компрессор, который начинает активно охлаждать внутренность холодильника, то есть качественно меняется структура действий.

Системы класса 2.2 - Широко распространенные *промышленные автоматы*, построенные, как правило, на основе системного объединения нескольких реагирующих сервомеханизмов. Примеры: Автопилот, ведущий самолет по заданному курсу и на заданной высоте. Система кондиционирования воздуха, поддерживающая заданные температуру и влажность и создающая при этом определенный заданный аромат и т. п. Такие системы могут адаптироваться к окружающей среде, но не могут обучаться, накапливать опыт.

Системы класса 2.3. Такие системы, которые, *имея ограничение по структуре действий*, жестко задаваемой окружением, *имели бы в то же время свободу произвольного выбора функций*, неизвестны.

Системы класса 3.1 - *Программируемые системы*, настраиваемые на реализацию единственной заложенной в

них функции. Однако при выполнении этой функции системы имеют свободу в выборе структуры действий. Пример: Демонстрационная модель “электронная мышь”. Функция - найти выход из лабиринта - единственная во всех окружениях (имеются в виду лабиринты различных конфигураций). Но структура действий “мыши” различна и никогда не повторяется. Можно наделить “мышь” памятью - это сократит время поиска выхода из лабиринта, но не изменит суть дела.

Системы класса 3.2 *Программируемые системы*, которые ведут себя как *однонаправленные в каждом специфическом окружении*. То есть, окружением жестко задается функция системы. (При этом под “окружением”, точнее под его воздействием, понимаются и внешние команды на переключение функций). Таким образом, системы не могут выбирать функцию - она им задается “свыше”. Но зато они сами произвольно выбирают структуру действий. Пример: ЭВМ, запрограммированная на несколько игр: шахматы, карточные игры, ролевые игры и т. п. Она игру не выбирает - игру ей задают. Но в заданной игре свои очередные ходы ЭВМ выбирает сама.

Системы класса 3.3. Это системы, *обладающие свободой выбора и структуры действий и функций независимо от окружения*. Они могут продуцировать функциональные результаты одного типа структурно различными способами действий и, наоборот, при одной и той же структуре действий реализовать различные функции. В любом окружении эти системы вольны и в выборе функции и в выборе структуры действий. И тот и другой выбор осуществляется ими только на основе внутренней *мотивации*. Поэтому в дальнейшем будем называть их *Системы мотивационного управления*. Именно к этому классу и относятся интересующие нас *организационные системы*. Системы мотивационного управления это либо живые организмы, либо совокупности живых организмов. Все остальные системы, являются *Системами сигнального управления*.

1.4 Эволюция систем. Закон перехода количества в качество

Из определения «системы» следует, что главным свойством системы является целостность, единство, достигаемое посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий элементов системы, и проявляющиеся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы сами по себе не обладают. Это свойство называют *эмерджентность* (от англ. *emerge* – возникать, появляться).

Эмерджентность – свойство систем, обуславливающее появление новых свойств и качеств, не присущих элементам, входящих в состав системы.

Признание эмерджентности – основной принцип Системного подхода, который в этом отношении противоположен *Редукционизму*, сторонники которого утверждают, что целое можно изучать, расчленив его на части и затем, определяя их свойства, определить свойства целого. Свойству эмерджентности близко свойство целостности системы. Однако их нельзя отождествлять. Объект, обладающий свойством эмерджентности, обязательно обладает и свойством целостности. Однако, не всякий объект, обладающий свойством целостности, обладает и свойством эмерджентности.

Обратимся вновь к рассмотрению скрипки как системы. Структурно эта система очень проста. Конструкция ее отлично изучена и воспроизводилась в миллионах и миллионах скрипок, выпущенных за все годы с тех пор, как появился первый экземпляр музыкального инструмента, который можно назвать скрипкой в нынешнем понимании.

Однако в течение нескольких столетий, несмотря на многочисленные попытки, никому не удалось создать скрипку с таким качеством звучания, как у скрипок великих мастеров

прошлого: Страдивари, Амати и других. И главная причина этого в том, что невозможно воспроизвести те отношения между компонентами изделия, которые были заложены мастером его создавшим.

Можно рассмотреть и другие, менее экзотичные примеры. Известно, что в течение многих лет некоторые образцы авиационной техники (в прошлом – советской, а ныне – российской) по своим характеристикам превосходят любые зарубежные образцы аналогичного назначения, включая американские. И известно также, что американцами неоднократно предпринимались (и предпринимаются) попытки «разгадать» технологические секреты их производства путем детального изучения доступных им образцов.

Так, например, в марте 1966 года через подставную голландскую фирму американцами был приобретен для детального изучения советский вертолет – «летающий кран», обладавший непревзойденной грузоподъемностью. Однако, создание вертолета, превосходящего или, хотя бы, сопоставимого по своим характеристикам как с тогдашним вертолетом фирмы Миля – МИ-6, так и нынешним – МИ-26, было и остается для американских специалистов недостижимой задачей.

Итак, эмерджентность в той или иной мере присуща любой системе. И во всех рукотворных системах характеристики их определяются не простой совокупностью свойств, входящих в них компонентов, но и набором отношений, в которые эти компоненты были поставлены создателями этих систем. А в наборе этих отношений в том или ином виде проявляется мастерство их создателей, то ли умелых, то ли талантливых, то ли гениальных. А порой (и так бывает) – попросту бездарных.

Из вышеизложенного может возникнуть вопрос: а не является ли свойство эмерджентности, присущее всем системам, основанием считать, что любые системы не могут изменяться эволюционным путем? В работах, так или иначе отно-

сящихся к рассмотрению систем, такая точка зрения действительно существует. Более того, может использоваться как доказательство того, что жизнь на Земле появилась как творение некого всемогущего Творца. Логика таких рассуждений можно проиллюстрировать на следующем примере.

В одной из брошюр, распространяемых религиозной сектой «Свидетели Иеговы» (ведущей довольно агрессивную политику распространения своих идей), рассматривается простейшая мышеловка (как минимальная система), состоящая из четырех элементарных компонентов: дощечки-основания, подвижной рамки, пружинки и подпорки.

Рассматривая эту систему, авторы утверждают, что подобная система не могла появиться эволюционно. Она могла быть созданной только целиком со всеми необходимыми компонентами, поскольку при отсутствии любой из компонент система становится не работоспособной. А далее, авторы переходят к живой клетке, являющейся неизмеримо более сложной системой, нежели мышеловка, и утверждают, что уж клетка заведомо не может являться продуктом эволюции и не могла возникнуть спонтанно, а стало быть, является продуктом, созданным Всемогущим Творцом.



Рассмотрим эту цепочку рассуждений по порядку, начиная с пресловутой мышеловки. Прообразом ее является, например, система «банка – спичка». Банка подпирается с одной стороны спичкой, а под банкой кладется приманка. Но, и у этой примитивнейшей системы существует потенциальный прообраз. На этом простейшем примере видно, что рукотворные системы, несомненно, могут эволюционировать в процессе своего применения. Эволюционирует, конечно, идея системы и ее последующие реализации, а не конкрет-

ные экземпляры. Последнее замечание, впрочем, относится и ко всем представителям живой природы.

В процессе своей эволюции системы могут достигать такого состояния, при котором происходит неизбежный переход от одного вида систем к другому. Старые системы разрушаются или отмирают, уступая место новым поколениям. Иногда такие переходы происходят достаточно плавно, эволюционным путем. А иногда такие переходы осуществляются скачкообразно, а то вовсе в процессе взрыва. В зависимости от природы систем такие взрывы могут иметь физико-технический, физико-химический, природно-биологический или социально-экономический характер.

Основным механизмом эволюционного развития и возникновения скачкообразных переходов является накопление изменений в отношениях между компонентами системы. Например, атмосфера в шахте в нормальных условиях представляет естественную смесь азота, кислорода и небольшой процент примеси метана. Но, в определенных местах количество метана может постепенно накапливаться и когда процентное содержание метана в воздухе достигает 9,5 %, возникает новая система, именуемая гремучий газ. Тогда достаточно малейшей искры, высекаемой, например, ударом стального инструмента о твердый камень, чтобы произошел взрыв страшной силы.

В системных переходах «лед» - «вода» - «пар» основным параметром отношений между молекулами водорода и кислорода являлась скорость движения молекул, обусловленная в свою очередь температурой системы. В газовых смесях, таких как метан – воздух основным системообразующим свойством отношений является пропорция между количествами молекул составляющих смесь газов.

Такие же системные переходы, обусловленные постепенным изменением отношений, наблюдаются и в природе. При больших масштабах их проявления они именуются как катаклизмами. В своей теории катаклизмов французский био-

лог XIX века Кювье полагал, что поверхность Земли время от времени потрясали страшные катастрофы, уничтожавшие все населяющие ее живые организмы. В последующий период Земля заселялась новыми живыми организмами, которые оставались неизменными до следующей катастрофы, и т. д. В таком изложении история органического мира представляется пунктирной разорванной линией, отдельные ступени которой не связаны между собой.

Гораздо более реалистичной выглядит эволюционная теория Дарвина, в которой прослеживается постепенное развитие различных видов животных от простейших организмов до современных видов, включая человека. Но и эта теория оставляет открытыми многие вопросы. Например, совершенно необъясним с ее позиций переход от мира огромных ящеров к миру животных современного вида.

В действительности постепенные, незначительные изменения компонентов предметов и явлений и отношений между этими компонентами на определенном этапе создают условия для коренных качественных изменений самих предметов и явлений и отношений между ними. А без таких изменений невозможно превращение существующих объектов в совершенно иные предметы и явления.

Так, развитие в неживой природе, включающее незначительные изменения предметов в весе, размерах, числе составляющих элементов и отношений между ними, приводило к преобразованию одних атомов в другие, к возникновению различных новых молекул, к созданию разнообразных новых веществ, вплоть до сложных органических веществ. Развитие живой природы также охватывает и незначительные изменения организмов, и возникновение новых их видов. Рассмотренные выше факты взаимной зависимости качественных и количественных изменений показывают, что между этими изменениями существует глубокая системная связь. Сущность этой связи отражает закон перехода количественных

изменений в качественные и обратно. Сущность этого закона может быть выражена следующим образом:

Количественные изменения элементов системы и характера отношений между ними по достижении определенного момента (который можно назвать границей меры) вызывают переход системы в новое качество.

Действие этого закона может проявляться либо в рамках существования одной конкретной системы, либо по отношению к определенному классу систем, когда каждое поколение сохраняет свои основные свойства, накапливая относительно непринципиальные количественные и качественные изменения, и сменяется следующим поколением, обладающим набором существенно новых свойств.

Для технических систем этот процесс продолжается до тех пор, пока данный класс систем не исчерпывает полностью свой потенциал к совершенствованию. После чего, данный класс систем отмирает. Так было, например, с таким классом систем как паровозы. Этот класс прошел славный жизненный цикл от первого паровоза Стефенсона (1814 год) до могучих локомотивов 50-х годов прошлого столетия.

Естественно, что действие закона перехода количества в качество в равной мере распространяется и на биологические и на социально-экономические и на все прочие организационные системы. Так, говоря о системах кредитования можно проследить путь их эволюционного развития и качественных переходов от индивидуального ростовщичества (вспомним шекспировского Шейлока) до могучих супербанков наших дней. Эти системы еще живы. Но, разразившийся мировой финансовый кризис уже поставил под сомнение эффективность и экономическую целесообразность их существования, по крайней мере, в нынешнем их образе жизни.

Литература:

1. Исследования по общей теории систем. Сб. пер., М., 1969;
2. Проблемы методологии системного исследования, М., 1970;
3. Бескровный И. М. Системный анализ как метод решения сложных логических проблем. Часть I. Апории Зенона. Современные наукоемкие технологии. №3, 2011, с. 20 – 26
4. Бескровный И. М. Системный анализ как метод решения сложных логических проблем. Часть II. Логические парадоксы. Современные наукоемкие технологии. №1, 2012, с. 24 - 30
5. Блауберг И. В., Юдин Б. Г., Понятие целостности и его роль в научном познании, М., 1972;
6. Блауберг И. В., Юдин Э. Г., Становление и сущность системного подхода, М., 1973;
7. Садовский В. Н., Основания общей теории систем, М., 1974;
8. General systems theory, v. 1—20, N. Y., 1956—75;
9. Churchman C. W., The systems approach, N. Y., [1968];
10. Bertalanffy L. von, General systems theory. Foundations, development, applications, 2 ed., N. Y., 1969;

Глава 2. Методы системного анализа

Как показано в предыдущей главе системный подход определяет общую методологию исследования, то есть исходные взгляды и установки исследователя, Для эффективного применения принципов системного подхода необходима соответствующая организация самого процесса исследования, что обеспечивается использованием методов системного анализа.

Системный анализ - совокупность формализованных методов и приемов, обеспечивающих применение принципов системного подхода и составляющих его инструментарий.

2.1 Основные задачи системного анализа

Используя символьные обозначения математической логики и некоторые дополнительные обозначения, приведенное в предыдущей главе, определение системы можно записать в виде математического соотношения. Далее, путем логических преобразований этого соотношения можно четко определить состав основных задач системного анализа.

Ниже приняты следующие обозначения:

P, Q - произвольное множество свойств;

m, t - множество объектов, входящих в состав сложного объекта;

Тот факт, что множество объектов m является, в свою очередь, объектом, будем обозначать с помощью скобок. Тогда запись вида $(m)Q$ будет означать сложный объект, состоящий из множества объектов m , обладающих множеством свойств Q . Приняв, далее, что $\mathcal{R}(m)$ означает множество отношений между объектами m , а запись вида $(m)^S$ означает, что сложный объект является системой, определение системы можно записать в виде следующего высказывания:

$$(m)^S = \text{Def}[(m)Q \& \mathcal{R}(m) \rightarrow (\Box P \cap Q = \emptyset)], \quad (2.1)$$

которое читается следующим образом: “Системой $(m)^S$ по определению является множество объектов (m) , обладающих множеством свойств Q , таких, что при заданном множестве отношений $\mathcal{R}(m)$ существует множество свойств P , не выводимых и не сводимых к множеству свойств Q .”

Таким образом, еще раз подчеркивается, что главным признаком, отличающим систему от простой совокупности объектов, является некое новое свойство, которым объекты в отдельности не обладают. Мера отличия свойств системы от простой суммы свойств составляющих ее элементов есть

мера организованности системы. И если это отличие равно нулю, то равна нулю и мера организованности, и тогда система вырождается в простую совокупность элементов.

Сформулированное понятие системы является условным. Мы можем любой объект рассматривать как систему, если выясним наличие принципиально нового свойства, которое определяется совокупностью составляющих объект элементов и отношений между ними и не присуще этим элементам, взятым в отдельности. Из этого следует, что областью применения системного анализа является любая сфера человеческой деятельности, в которой справедливым является утверждение, что для любого сложного объекта (m), состоящего из элементов, обладающих свойствами Q , существуют отношения $\mathcal{M}(m)$ и свойства P , относительно которых сложный объект является системой, то есть:

$$(\forall(m)Q)(\exists \mathcal{M}(m))(\exists P)[(m)Q \& \mathcal{M}(m) \rightarrow (\exists P)(P \cap Q = \emptyset)] . \quad (2.2)$$

Высказывание (2.2) составляет, по существу, основу системного подхода. На основе положения, сформулированного в виде высказывания (2.2), системный подход предполагает при исследовании свойств любого сложного объекта рассматривать его как систему и проводить анализ, исходя из неразрывности связи трех категорий: объекты, свойства, отношения.

Справедливость утверждения (2.2), вообще говоря, не доказуема, хотя примеров, противоречащих этому утверждению, в практической жизни найти не удастся. При внимательном анализе любого сложного объекта всегда можно обнаружить какие-то свойства, являющиеся следствием отношений между элементами этого объекта и не сводимые к сумме их свойств. Однако проблема доказуемости утверждения (2.2) не является существенным ограничением, если не ставится задача возведения системного анализа в ранг всеобщей междисциплинарной науки. Напротив, утверждение (2.2) позволяет в наиболее конкретном виде очертить область

применимости системного анализа, а именно: областью применимости системного анализа является исследование таких сложных объектов, для которых утверждение (2.2) является *справедливым*.

Значит, в случае, если в какой-то из областей материального или духовного мира выявляется некий объект, признаваемый сложным, но не удовлетворяющий утверждению (2.2), то исследование этого объекта не может явиться предметом системного анализа, а должно проводиться в рамках иной системы категорий и понятий. Так, например, не подлежат системному анализу все религиозные догматы и категории, а также такие феномены как телепатия, полтергейст, летающие тарелки и пр. Принимая одно или два из множеств объектов, свойств и отношений заданными и, применяя к остальным множествам квантор существования, можно получить утверждения, которые являются истинными лишь при выполнении определенных дополнительных условий. *Исследование, выявление этих условий и разработка рекомендаций по их обеспечению и составляет сущность основных задач системного анализа.*

Так, проверка истинности утверждения

$$(\exists P)[(m)^*Q \& \mathcal{R}^*(m) \rightarrow (\exists P)(P \cap Q = \emptyset)], \quad (2.3)$$

то есть выявление множества свойств P , при котором утверждение (2.3) является истинным при заданных $(m)^*Q$ и $\mathcal{R}^*(m)$, есть основная задача анализа (исследования) системы. Поиск условий, при которых является истинным утверждение

$$(\exists (m)Q)(\exists \mathcal{R}(m))[(m)Q \& \mathcal{R}(m) \rightarrow (\exists P^*)(P^* \cap Q = \emptyset)], \quad (2.4)$$

то есть поиск такого множества объектов $(m)Q$ и отношений $\mathcal{R}(m)$, задаваемых на этом множестве, которые в своей совокупности образуют систему, обладающую заданными свойствами P^* , есть общая задача синтеза систем.

Всего на основании указанных формальных признаков (какие множества заданы и какие подлежат выявлению) можно различить шесть основных классов задач системного анализа. Из них - три задачи анализа существующих систем и три задачи синтеза. Приведенная классификация задач не является, конечно, исчерпывающей. Однако общую сущность этих задач она раскрывает достаточно определенно. Методы системного анализа позволяют исследовать любые существующие и мыслимые классы систем, то есть решать по отношению к любой системе соответствующие задачи, относящиеся к одному из шести указанных классов. Однако формальному анализу с помощью математических методов *исследования операций* доступны не все системы, удовлетворяющие определению (2.1), а только те из них, которые обладают некоторым набором свойств. Для нас наибольший интерес будут представлять те свойства, наличие которых обеспечивает возможность анализа систем с помощью математических методов.

Переходя к определению класса систем, доступных анализу математическими методами исследования операций, отметим, что, прежде всего, эти системы должны обладать свойствами, на основе анализа которых система может быть описана ее математической моделью. Для формулировки дальнейших определений рассмотрим некоторые общие методологические основы моделирования.

2.2 Модельные отображения и модели

Как уже говорилось, некоторые свойства объекта могут *проявляться* во взаимодействии “объект - объект”, а некоторые - *выявляться* лишь во взаимодействии “субъект - объект”. К последним свойствам относятся, например, сложность, красота, надежность и другие, которые субъект соотносит с объектом лишь при мысленном восприятии. При чувственном восприятии субъект может соотносить с объек-

том лишь такие свойства, которые воспринимаются им через ощущения: твердость, гладкость, теплота, вкус, запах и т.п.

Однако все те свойства, которые субъект соотносит с объектом при мысленном его восприятии, по существу соотносятся не с самим объектом в целом, а с его мысленным образом, который в любом случае по набору свойств беднее реального объекта. Так, размышляя о слитке золота как об объекте продажи, имеют в виду его вес и ценность и вовсе не думают об электропроводности золота или о его пластичности. И, наоборот, мастер, собирающийся из золотого слитка сформировать какое-нибудь драгоценное украшение, в первую очередь имеет в виду его пластичность, его красоту. Для конструктора электронных схем главными свойствами золота являются его электропроводность и не подверженность коррозии, благодаря которым контакты, покрытые золотом, обеспечивают безотказную работу электронных систем. Тот образ, с которым соотносится объект при его мысленном восприятии, является модельным отображением объекта.

В этом образе субъект, выделяя ряд существенных (для самого субъекта) свойств, может усилить или ослабить их (естественно, лишь в своем восприятии), сделав тем самым образ более контрастным, выразительным. Мысленный образ в итоге всегда в чем-то беднее, а в чем-то богаче объекта - оригинала. Если этот образ зафиксирован на каком-нибудь носителе информации или воплощен в виде физического объекта, то он является моделью объекта, которая может быть использована для исследования свойств самого объекта и специфики его взаимодействия с другими объектами. Таким образом:

Модель объекта есть любой иной объект (материальный, мысленный, математический), обладающий ограниченным набором существенных свойств, присущих оригиналу.

Одному и тому же объекту может быть сопоставлено множество совершенно различных моделей, каждая из кото-

рых будет отображать определенный набор существенных свойств объекта. При этом любая модель будет обладать лишь ограниченным набором этих свойств. Если удастся воспроизвести модель, обладающую полным набором свойств, присущих оригиналу, то это будет воспроизведена не модель, а сам объект - оригинал.

Следует подчеркнуть, что субъективная мера свойств мысленного образа всегда, так или иначе, базируется на совокупности объективных свойств. И хотя ряд свойств вообще не существуют сами по себе, без восприятия их субъектом (красота, сложность и т. п.), но и уровень, и характер восприятия для произвольного субъекта объективны в том смысле, что поддаются усреднению и статистической оценке. Например, можно выделить однородную по восприятию некоторого свойства (например, красоты) группу индивидов на основе проведенных ими ранговых оценок некоторого набора объектов. Если теперь эту группу индивидов произвольным образом разделить на две примерно равные части, а затем предъявить образовавшимся новым группам отдельно другой набор объектов, то ранговые оценки субъективных свойств в обеих группах окажутся довольно близкими. Конечно, при этом требуется наличие определенной однородности и в объектах: скажем, они должны оставаться предметами искусства и т.п.

Моделировать можно все, но не во всех отношениях. Необоснованными являются ссылки на принципиальную невозможность создания адекватной модели некоторого объекта ввиду его чрезмерной сложности. Понятие адекватности по отношению к модели является сугубо условным и зависит лишь от характера той проблемы (задачи), для решения которой необходимо использовать модель некоего объекта. При этом, в большинстве случаев, вполне адекватная модель чрезвычайно сложного объекта (например, человека) может быть реализована с использованием весьма примитивных средств. В качестве иллюстрации ниже приводится несколько

ко примеров построения простейших моделей человека. Каждая из них воспроизводит некоторые существенные свойства человека вполне адекватно той задаче, для решения которой эта модель используется.

Примеры: 1) При испытании лифта, новой модели парашюта и др. моделью человека может являться мешок с песком соответствующего веса; 2) При испытании огнестрельного оружия в вооруженных силах США в качестве модели человека используется канистра с томатным соком; 3) Прекрасной моделью человека для портного является безглавый манекен; 4) При розыске человека в качестве его модели используется фотография, фоторобот, словесный портрет и т.д.

При моделировании объекта такое его свойство как сложность не имеет объективной меры и основы. В природе не существует *a-priori* сложных или простых объектов. Поэтому, нельзя указать ни одного объекта, в отношении которого можно дать априорное определение, является ли он (объект) элементарным объектом или системой - все определяется принятым масштабом и целью рассмотрения.

Вполне очевидно, что в процессе мысленного или чувственного восприятия объективные свойства самого объекта не изменяются (состав его частей, отношения между ними и т.п.). Однако при мысленном анализе субъект может воспринимать любой сложный объект как неделимый, элементарный, обладающий лишь ограниченным набором свойств (например, весь земной шар как простую материальную точку, обладающую единственным свойством - массой). И, наоборот, любой элементарный объект (в ядерной физике - элементарную частицу) рассматривать и анализировать как сложную систему (составной объект), части которой так же обладают определенными свойствами и находятся в определенных отношениях между собой.

Ясно, что эти метаморфозы происходят не с самим объектом, а с его мысленным образом - с его модельным отоб-

ражением. И в этом плане субъективные меры свойств объекта объективны, хотя и не существуют вне восприятия их субъектами. Именно к таким объективным свойствам, имеющим субъективную меру, относится свойство объекта быть системой. Поэтому: *Объект познается как система тогда и только тогда, когда относительно него решается задача определенного (системного) типа. Любой объект оказывается системой, но не в любом отношении.*

Таким образом, можно определить понятие системы с других позиций, а именно, с позиций моделирования и считать, что: *Система есть модель объекта, в которой объект представлен как составное целое, состоящее из частей, обладающих определенными свойствами и находящихся в таких отношениях, которые порождают новые свойства, присущие только системе в целом и не присущие ее составным частям, взятым по отдельности или в любых совокупностях, но в иных отношениях.*

Для любого объекта всегда найдется свойство, по отношению к которому объект в модельном отображении может быть представлен как элемент, как *простая система* и как *сложная система*.

Элемент системы (составная часть) - есть модель объекта, в которой он представлен как неделимое целое, не имеющее внутренней структуры и являющейся частью некоторой системы.

При этом существенными свойствами элемента являются лишь те, которые определяют его отношение с другими элементами (составными частями) данной системы. Остальным свойствам, не только субъективным, но и объективным, приписывается нулевая мера. Например, в системе “маятник” грузик не имеет размера, цвета, твердости и т.п.

Простая система - модель объекта из конечного числа элементов, обладающих такими свойствами и находящимися в таких отношениях, которые позволяют однозначным

образом определить свойства системы как следствие свойств ее элементов и отношений между ними.

Сложная система - модель объекта, в которой связь существенных его свойств со свойствами его частей и отношений между ними представлена многомерным деревом причинно-следственных связей, причем в цепочках этих связей есть какие-то разрывы, не поддающиеся представлению через функции отклика.

Итак, находясь в отношении познания объекта, субъект оперирует его модельным отображением. При этом субъективность модельного отображения определяется только позицией субъекта, что же касается исследуемого объекта, то, как отмечалось ранее, присущая ему системность имеет безусловно-объективный характер, и характер этой системности и определяет истинность и полноту модельного отображения, формируемого субъектом.

Моделирование является одним из основных элементов совокупности формализованных приемов, составляющих инструментарий системного подхода. В общем случае модель есть отображение объекта в математическом виде, или на уровне вербальных определений с *ограниченной* полнотой отношений между основными элементами системы и вытекающими из этих отношений свойствами. По существу, процесс построения модели есть процесс познания реально существующей системы.

Уровни моделирования

Различают три уровня модельного представления системы - по нарастающей полноте отображения. Простейшим уровнем является описание состава системы или представление системы списком ее элементов. Такой уровень оказывается удовлетворительным только в тех случаях, когда свойства элементов таковы, что возможные отношения между ними являются очевидными. Тогда о свойствах системы можно получить определенное представление на основании

списка ее элементов. Пример: состав компьютера задан списком его элементов – тип процессора и его быстродействие (частота), емкость, тип монитора, емкость HD. Этого списка достаточно, чтобы иметь представление о функциональных возможностях данного компьютера.

Однако в большинстве случаев представление списком оказывается недостаточно информативным. Тогда используется более информативное представление системы моделью “черного ящика”. (Рис. 2.1).

В этом случае для моделирования системы выявляется множество X переменных на входе системы и множество Y - на выходе и между ними устанавливаются функциональные соотношения. То есть система S определяется в этом случае соотношением:

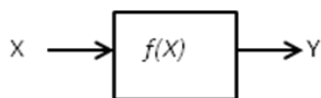


Рис. 2.1 Модель системы на уровне «Черного ящика»

$$S \subset X * Y, \quad (2.5)$$

где $*$ - символ декартова произведения. Декартово произведение означает, что каждый элемент множества X функционально связан с каждым элементом множества Y , и наоборот. Материальная основа, то есть материальный носитель отношений, отображаемых уравнением (2.5), или, как говорят, *субстрат* системы, представляется в данном случае элементарным объектом.

Модель “черного ящика” позволяет прогнозировать состояние выхода системы Y при произвольно задаваемом входе X . Однако справедливость такого прогноза ограничивается предположением о постоянстве свойств элементов системы и постоянстве отношений между ними независимо от времени и от внешних воздействий. Что касается желательного изменения свойств системы путем изменения состава элементов или отношений между ними, то модель “черного

ящика” является в этом отношении совершенно не информативной. Характер изменений, необходимых для достижения необходимых свойств системы, можно получить только на основе анализа структурной модели системы (рис. 2.2).

В структурной модели система определяется как совокупность элементов с заданными отношениями между ними. При этом все элементы задаются на уровне моделей “черного ящика”, а функциональное соотношение между входом X и выходом Y системы опреде-

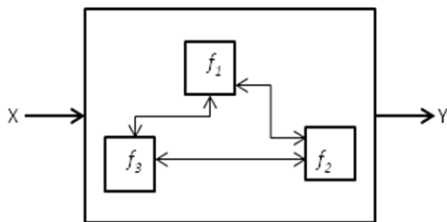


Рис. 2.2 Структурная модель системы

ляется как следствие заданных отношений между ее элементами. В исследуемую систему включаются и в модели отображаются только те элементы и отношения, которые существенны с точки зрения построения модели, совпадающей в частном случае с целью системы. Отсюда вытекает: для одной и той же реальной системы существует множество адекватных ей моделей, построенных с целью анализа различных аспектов структуры и поведения исследуемой системы. Для выявления и структуризации существенных элементов и отношений при системном подходе широко используются процессы декомпозиции и синтеза.

В процессе декомпозиции анализ системы начинается с рассмотрения ее на уровне модели “черного ящика”. Затем переходят к ее структурному представлению через совокупность элементов, представляемых моделями “черного ящика”. На следующем этапе декомпозиции каждый из элементов, в свою очередь, рассматривается как система на уровне структурного представления через совокупность составляющих его частей, представляемых моделями черного ящика и т.д.

При синтезе движение идет в обратном направлении. От структурного представления некоторой совокупности систем переходят к их моделям “черного ящика”, то есть рассматривают их как элементы системы более высокого порядка, получая при этом ее структурную модель. Затем эта система более высокого порядка может быть представлена моделью “черного ящика” и рассматриваться как элемент системы еще более высокого порядка и т.д.

Из этого следует, что понятия *система* и *элемент* являются относительными и зависят от уровня рассмотрения. Системой обычно считается объект, исследуемый на данном этапе рассмотрения. При анализе сложных систем на первом уровне декомпозиции их разделяют на *подсистемы*. Подсистемы, в свою очередь, могут подразделяться на *блоки*, блоки - на *узлы* или *элементы*. Элемент - предел членения объекта в процессе рассмотрения. Собственное строение элемента (или его состав) не принимается во внимание в характеристике системы: составляющие элемента уже не рассматриваются как компоненты данной системы. *С точки зрения системы важен не субстрат элемента, а то, что он делает, чему служит в рамках целого.*

2.3 Математическое моделирование

В большинстве случаев конечной целью моделирования является получение математической модели, то есть совокупности математических формул и уравнений, представляющих соотношение (2.5) в замкнутом виде, позволяющем численно определять величину изменений выходных переменных в зависимости от задаваемых изменений входных переменных.

Следует отметить, что не всякая система, удовлетворяющая определению (2.1), поддается математическому моделированию. Для определения тех свойств, которыми должна обладать система, доступная математическому описанию, воспользуемся некоторыми результатами М. Месаровича и

Я. Такахары [7]. Математической моделью общей системы будем называть отношение на непустых (абстрактных) множествах

$$S \subset * \{V_i : i \in I\}, \quad (2.6)$$

где $*$ - символ декартова произведения, а I - множество индексов.

Пусть, далее, $I_x \subset I$ и $I_y \subset I$ образуют разбиение множества I , то есть, пусть $I_x \cap I_y = \emptyset$ и $I_x \cup I_y = I$. Тогда множество $X = \{V_i : i \in I_x\}$, будем называть входным объектом, а множество $Y = \{V_i : i \in I_y\}$ - выходным объектом системы. Система S , для которой такое разбиение существует, определяется соотношением

$$S \subset X * Y. \quad (2.7)$$

В литературе по системному анализу такую систему часто называют система “вход - выход”. Если при этом S является функцией

$$S : X \rightarrow Y, \quad (2.8)$$

то соответствующая система будет называться функциональной.

Пусть, наконец, для данной функциональной системы S существует произвольное множество C , а функция $R : (C * X) \rightarrow Y$ такова, что

$$(x, y) \in S \Leftrightarrow (\exists C)[R(c, x) = y]. \quad (2.9)$$

Тогда C называется множеством глобальных состояний системы, а его элементы - просто глобальными состояниями системы, функция R называется глобальным откликом системы S .

Соотношения (2.6) - (2.9) образуют в своей совокупности предельно общее определение класса систем, доступных анализу математическими методами или методами исследо-

вания операций. Сюда входят системы, для которых может быть составлена математическая модель в соответствии с соотношением (2.6), имеющие вход и выход в соответствии с соотношением (2.7), являющиеся функциональными в соответствии с соотношением (2.8) и имеющие множество глобальных состояний и глобальную функцию отклика в соответствии с соотношением (2.9).

В соответствии с основным свойством таких систем - способностью откликаться на внешние воздействия - будем называть в дальнейшем такие системы *респонзивными* (от английского слова *response* - отклик). Эти системы будут представлять для нас особый интерес, поскольку все организационные системы, являющиеся объектом нашего внимания, обладают свойством респонзивности, хотя и не в смысле, определяемом соотношением (2.9), а в гораздо более широком смысле. Несколько более подробно свойства респонзивных систем и место организационных систем в общей классификационной схеме будут рассмотрены в соответствующем разделе.

2.4 Этапы системного анализа

Системный анализ - объединяющее название совокупности средств, методов, приемов, применение которых обеспечивает методологическую основу реализации принципов системного подхода при анализе событий, процессов, систем.

В предыдущих разделах были установлены цели и предмет системного анализа объекта - выявление совокупности элементов (m) и отношений $\mathcal{M}(m)$, следствием которых являются системные свойства P . Эффективность системного исследования объекта обычно тем выше, чем шире и полнее исследователь использует арсенал средств, составляющих методологию системного анализа.

Методология системного анализа состоит из совокупности формализованных приемов, позволяющих за ограничен-

ное время выделить такое конечное множество связей, влияющих на свойства системы, которое с необходимостью определяет роль и значение каждого существенного элемента системы. Именно методология выделения существенных связей на высшем уровне обобщения составляет сущность общей методологии системного анализа как такового или его инструментарий.

Говоря о совокупности методологических приемов системного анализа, трудно дать исчерпывающий перечень методов, имеющих общесистемную применимость, отделив их при этом от методов, применимость которых ограничивается определенным классом систем. Поэтому в настоящей главе будут рассмотрены только два методологических приема, заведомо полезных при анализе систем любого класса. Другие методы, полезные при анализе организационных систем, будут рассматриваться в последующем.

Одним из самых общеупотребительных методологических приемов, использование которого следует считать обя-



Рис. 2.3 Последовательность этапов системного анализа

зательным, является определенная последовательность этапов системного анализа, которая представлена на рис. 2.3.

Необходимый первый этап системного анализа - выявление проблемной ситуации. На этом этапе ищут ответа на вопрос “Что случилось?” Почему надо создавать (конструировать, совершенствовать) новую систему? или решать какую-то задачу? Ответ должен быть сформулирован в четких, конструктивных терминах, позволяющих наметить пути ликвидации проблемной ситуации.

Примеры: 1. Существующие средства сбора и обработки информации не обеспечивают своевременной подготовки

(или должного уровня проработки) принимаемых решений. Возможные меры - разработка новых средств и методов сбора информации и нового комплекса математических моделей для ее обработки.

2. Значительно возросло число опозданий бригад скорой медицинской помощи (СМП). Возможные меры - а) увеличение числа дежурных бригад; б) совершенствование системы управления бригадами на основе использования ЭВМ. Осознание проблемной ситуации отвечает на вопрос “зачем?” относительно системы, которая должна быть усовершенствована, либо сконструирована заново. Таким образом, выявление проблемной ситуации задает смысл работы над системой.

Второй этап - формирование набора целей, достижение которых обеспечит ликвидацию (компенсацию последствий) или, хотя бы, снижение остроты возникшей (или выявленной) проблемной ситуации. Набор целей в своей совокупности должен определять состояние системы, достижение которого ликвидирует проблемную ситуацию. При этом набор целей должен быть задан через такие показатели, которые позволяли бы оценивать степень приближения именно к заданной цели. Совершенно не конструктивными являются “лозунговые” формулировки целей, такие как, “повысить качество”, “добиться уменьшения потерь”, “повысить эффективность управления” и т. п. Таким образом, на этом этапе отвечают на вопрос: *“Каких целевых показателей необходимо достигнуть, чтобы ликвидировать проблемную ситуацию?”*

Пример: Все цели, по возможности, должны быть заданы в количественных показателях, позволяющих оценить степень приближения к намеченной цели. Например, удерживать показатель инфляции на уровне не выше столько-то процентов, удерживать курс рубля в таких-то пределах и т. п. Правда, применительно к организационным системам это удается не всегда, и в таких случаях вместо прямых целевых

показателей задаются косвенные показатели, достижение которых может приблизить систему к желаемому целевому состоянию.

Очень важно в этой ситуации не путать *цель* и *средство*. Например, в советское время было принято считать, что хорошим информативным показателем развития экономики являлись объемы выплавки чугуна, стали и пр. Но, значительное количество этих материалов использовалось нерационально. Тем не менее, для нижележащих уровней системы на определенный период в качестве цели может быть задано то, что для системы в целом является лишь средством достижения общесистемных целей.

На третьем этапе осуществляется формирование набора функции или действий, которые надо осуществить (осуществлять) для достижения сформулированных на втором этапе целей. То есть формируется ответ на вопрос: *“Что надо делать (сделать) для того, чтобы намеченные цели были достигнуты?”* или на вопрос: *“Как должна функционировать система, способная постоянно отслеживать сформулированную цель?”*

Четвертый этап - проектирование системы (или комплекса средств). Подбирается элементная база системы, разрабатывается ее структура, на основе которой возможна реализация набора функции, сформированного на третьем этапе. На четвертом этапе предполагается “проникновение” внутрь “черного ящика”, представляющего систему, и выявление таких элементов и отношений между ними, которые обеспечивают целенаправленное функционирование системы. Итогом четвертого этапа является ответ на вопрос: “На базе каких средств и методов может быть эффективно реализован необходимый набор функций?” Применительно к существующей системе, для которой элементная база задана, исходной предпосылкой четвертого этапа анализа является утверждение

$$(\exists \mathcal{M}(m))[(m)Q \& \mathcal{M}(m) \rightarrow (\exists P)(P \cap Q = \emptyset)] \quad (2.10)$$

и четвертый этап заключается в поиске таких отношений $\mathcal{M}(m)$, при которых система, состоящая из заданного множества объектов (m) , обладающих свойствами Q , приобретает заданные свойства P , то есть решается задача синтеза или совершенствования структуры.

Таким образом, четвертый этап заключается в поиске такого множества объектов (m) , обладающих свойствами P , и таких отношений между ними $\mathcal{M}(m)$, которые в своей совокупности образуют систему, обладающую заданными свойствами P , то есть решается задача синтеза элементной базы структурной схемы системы. Этот сложный этап проектирования, в свою очередь, подразделяется на несколько подэтапов, осуществляемых в следующей последовательности:

а) Построение концептуальной, а на ее основе - структурной модели системы, выделение подсистем, выделение блоков и элементов в подсистемах, определение функциональных связей между ними;

б) Определение математических моделей элементов на основе анализа их физической сущности (или на основе экспериментальных данных, эвристических постулатов и т.п.);

в) Синтез математических моделей блоков, подсистем и всей системы в целом и определение функции отклика системы;

г) Анализ полученной функции отклика и определение тех возможных изменений в составе элементов и (или) их свойств (параметров), благодаря которым функция отклика изменится в *благоприятном* (в заданном смысле) направлении. При этом улучшится качество системы в том смысле, что на выходе системы будут достигаться более ценные результаты при более широком диапазоне входных управляемых (и не управляемых) воздействий.

И, наконец, на пятом этапе осуществляется проверка реализуемости спроектированной системы при заданных

внешних условиях. Проверка осуществляется в лабораторных условиях, с помощью методов имитационного моделирования и, в конечном итоге, на натурных испытаниях. Итогом проверки является ответ на вопрос: “Так ли хороша система на практике, как она была задумана в проекте и в какой мере ликвидирована проблемная ситуация?”

При отрицательном ответе на этот вопрос показанные на рис. 2.1 этапы системного анализа реализуются в обратном порядке. А именно, проверяется адекватность разработанной структуры сформированному набору функций, затем - адекватность сформированных функции заданному набору целей и т. д. В конечном итоге вновь анализируется проблемная ситуация и движение по этапам вновь идет в прямом порядке. Такой процесс должен циклически повторяться до тех пор, пока на пятом этапе не будет достигнут положительный результат.

На пятом этапе учитываются внешние условия, действующие на входы функционирующей системы, которая является открытой для вещества, энергии и информации. Эти воздействия выступают либо как ограничивающие, либо как содействующие факторы. И с учетом этих факторов может оказаться, что среда не дает возможности выбора удовлетворительного набора средств для совершенствования существующей либо создания новой системы. В этом случае применение системного подхода приводит к обоснованию отказа от нереальной цели.

В тех же случаях, когда на основе обобщенного системного анализа выявлена принципиальная возможность получения положительного решения, встает вопрос о выборе соответствующей методологии проектирования. При этом следует подчеркнуть, что задача проектирования новой системы и задача совершенствования существующей системы принципиально не различаются и осуществляются в одинаковой последовательности и с использованием одинаковых приемов.

Развитие методологии исследования и проектирования сложных систем является главным направлением системного подхода и направлено на перевод эвристических процедур анализа и синтеза систем в формализованные процедуры. Наименее формализованным на сегодняшний день остается первый этап - анализ проблемной ситуации. Что касается второго этапа - целевыявление, то для него предлагается ряд формализованных приемов и один из них - алгоритм построения *нормативной карты целей*.

2.5 Нормативная карта целей.

Сложности этапа формирования комплекса целей начинаются с того, что отсутствует однозначность в определении понятия “цель”. Наряду с термином “цель” используются и такие понятия как “устремление”, “намерение”, “задача” и т. п. Обычно их используют в качестве синонимов, но иногда считают, что каждый из этих терминов связан со своим специфичным содержанием. Цели могут быть измеряемыми и неизменяемыми. Одни из них могут быть достигнуты за определенное время, а другие - только в отдаленной перспективе.

Более того, иногда могут формулироваться цели, факт достижения которых вообще не поддается констатации. Тем не менее, вся совокупность целей, во имя которых создается или совершенствуется система, должна быть на этапе проектирования зафиксирована в некотором документе. Наиболее конструктивный вид этот документ будет иметь, в случае, если он оформлен в виде *нормативной карты целей* (НКЦ). Общая форма НКЦ показана на рис 2.4.

Цели обычно размещены по уровням, а уровни связаны друг с другом через наборы логических элементов типа “И”, “ИЛИ”, “ИЛИ/НЕТ”. Понятие “источник целей” относится к комплексу целей, для которых один или более индивидов или организаций могут выступать как потребители результатов. Нормативная карта целей может строиться как для целе-

вых задач, так и для целевых устремлений. Различие между целевыми задачами и устремлениями выражается, прежде всего, в форме их определения. Формулировка целевой задачи выражается через глаголы совершенного вида в виде утверждения, имеющего следующую форму: *сделать* (то-то) + фраза, характеризующая объем и качество сделанного. Таким образом, задается нормативный уровень достижения целевого состояния системы.



Рис. 2.4. Общий вид нормативной карты целей

А формулировка целевого устремления выражается в следующей форме: *делать* (постоянно) (то-то) + фраза, характеризующая качество действия. Тем самым, задается целевое *поведение* системы.

Приведенные определения не являются ни исчерпывающими, ни достаточно общими. Их следует рассматривать как необходимые (но не достаточные). Во-первых, они позволяют отличать целевые задачи от целевых устремлений, действий и событий по семантическому формату. Во-вторых,

наличие глагольной формы как целевого объекта и фразы, характеризующей качество сделанного, обычно бывает достаточным, чтобы четко выразить, о чем идет речь.

Как уже указывалось, при построении НКЦ могут использоваться три типа логических элементов, Это элементы типа “И”, “ИЛИ”, “ИЛИ/НЕТ”. Элементом “И” объединяются подцели *B*, *C* и *D*, достижение каждой из которых необходимо для достижения вышестоящей цели *A*. Фрагмент НКЦ с элементом “И” показан на рис. 2.5.



Рис. 2.5 Фрагмент нормативной карты целей с логическим элементом «И»

Фрагмент НКЦ, представленный на рис. 2.5, не просто иллюстративная картинка, а реальная блок-схема, которая задает алгоритм расчета основных характеристик проекта, касающегося достижения цели *A*. Действительно, коль скоро для достижения цели *A*, как это следует из блок-схемы на рис. 2.5, требуется достижение всех подцелей *B*, *C* и *D*, значит, минимальные затраты на достижение цели *A* равны в этом случае суммарным затратам и определяются соотношением

$$Z_{A\min} = Z_B + Z_C + Z_D = \sum_i Z_i \quad (2.15)$$

В свою очередь, вероятность успешного достижения цели А определяется произведением вероятностей достижения каждой из подцелей, то есть

$$P_A = P_B P_C P_D = \prod_i P_i \quad (2.16)$$

И, наконец, предельный срок выполнения $T_{A\max}$ определяется очевидным соотношением

$$T_{A\max} = \max\{T_B, T_C, T_D\} = \max_i\{T_i\} \quad (2.17).$$

На рис. 2.6 представлен фрагмент НКЦ с другой схемой соединения подцелей - по схеме “ИЛИ/НЕТ”, иначе - эксклюзивного “ИЛИ”. По этой схеме подцели соединены тогда, когда для достижения цели верхнего уровня требуется достижение одной и только одной из намеченных подцелей. Подцели в этом случае называются *альтернативами*. И одной из важных задач, решаемых в процессе системного анализа, является оптимальный выбор альтернатив. Оптимальному выбору альтернатив посвящена одна из дисциплин, входящих в *Исследование операций - Теория принятия решений*, которой в данной книге будет уделено в последующем достойное внимание.



Рис. 2.6. Фрагмент НКЦ с логическим элементом “ИЛИ/НЕТ”

Для схемы "ИЛИ/НЕТ" основные характеристики процесса достижения цели B определяются следующими соотношениями: Минимальные затраты

$$Z_{B \min} = \min_i \{Z_E, Z_F, Z_G\} = \min_i \{Z_i\}.$$

Вероятность достижения цели $P_B = P_E(1 - P_F)(1 - P_G) + P_F(1 - P_E)(1 - P_G) + P_G(1 - P_E)(1 - P_F) + P_E P_F(1 - P_G) + P_F P_G(1 - P_E) + P_G P_E(1 - P_F) + P_E P_F P_G$.

Минимальный срок выполнения

$$T_{B \min} = \min_i \{T_E, T_F, T_G\} = \min_i \{T_i\}$$

И, наконец, для схемы на рис. 2.7, в которой подцели соединены по схеме "ИЛИ", то есть для достижения цели верхнего уровня достаточно достижение любой из подцелей, или любой их совокупности, имеют место следующие соотношения: Минимальные затраты

$$Z_{\min} = \min_i \{Z_K, Z_L, Z_M\} = \min_i \{Z_i\}$$

Максимальная вероятность выполнения

$$P_{\max} = \max_i \{P_K, P_L, P_M\} = \max_i \{P_i\}$$

Минимальный срок выполнения

$$T_{\min} = \min_i \{T_K, T_L, T_M\} = \min_i \{T_i\}$$

Таким образом, фрагменты НКЦ и вся НКЦ в целом благодаря использованию логических элементов превращаются из иллюстративной графики в расчетную блок-схему, компактно уязвляющую характери-

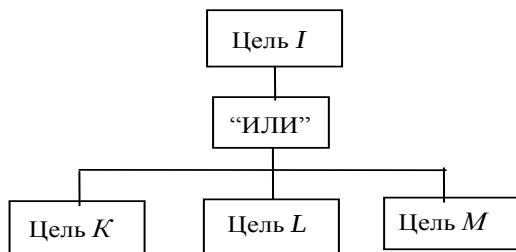


Рис. 2.7. Фрагмент НКЦ с логическим элементом "ИЛИ"

стики всего проекта с характеристиками отдельных его фрагментов. Более того, НКЦ обладает большей конструктивностью, чем обычная блок-схема, поскольку дополнительную информацию несут не только связи каждого элемента с соседними уровнями, но и положение этого элемента в общей структуре НКЦ.

Поскольку взаимоотношение целей определяется не только связывающими их логическими элементами, но и их взаимным расположением относительно друг друга (“выше”, “ниже”), то карта целей носит нормативный характер и поэтому названа нормативной картой целей.

Некая цель может располагаться ниже другой цели в НКЦ по одной из двух причин: 1. Если достижение цели *A* есть необходимое условие достижения цели *B*, то *A* располагается ниже *B*; 2. Если достижение цели *C*, или автономное, или в комбинации с другими подцелями, представляет альтернативный путь к достижению *D*, то цель *C* располагается ниже цели *D*. В общем случае построение НКЦ может осуществляться снизу вверх или сверху вниз. Если при формировании НКЦ регулярно формируются ответы на вопрос: “Зачем необходимо достижение этой цели?”, то НКЦ развивается снизу вверх. А если формируются ответы на вопрос “Что надо сделать (чего достигнуть) для достижения данной цели?” - то НКЦ развивается сверху вниз.

Любая цель на некотором промежуточном уровне всегда может рассматриваться как средство для достижения цели вышележащего уровня. В свете этого все цели в НКЦ являются в то же время и средствами, за исключением одной, самой высшей цели. Представленная на рис 2.4 схема имеет наиболее общий вид. На практике же обычно используются три частных варианта общей структуры. Первый тип - это НКЦ без указания источников целей. Он используется в том случае, если источник целей (целеполагающая система) один на всю схему. Второй тип - НКЦ без элементов логики. Такая структура именуется “граф целей” и может использоваться в

тех случаях, когда логические связи между всеми целями однородны. Например, все подцели объединяются только по схеме “И”. Естественно, что в этом случае изображение логических элементов на схеме может быть опущено.

И третий специальный тип - это общеизвестное “дерево целей”. Дерево целей - это такой граф целей, который имеет древовидную структуру. По определению, деревом называется связный граф без контуров, удовлетворяющий следующим требованиям:

- каждая дуга соединяет только таких два узла, которые находятся на соседних уровнях;

- каждый узел является терминальной точкой одной дуги, за исключением единственного узла, находящегося на самом верхнем уровне и являющегося вершиной дерева;

- каждый узел на всех уровнях кроме самого нижнего является исходной точкой для нескольких дуг. Все узлы самого нижнего уровня являются только терминальными точками.

Существует несколько способов построения НКЦ, используемых в зависимости от того, какая информация имеется в наличии. Иногда имеется исходный документ, задающий весь комплекс целей, и требуется только упорядочить их в единой логической структуре. В других случаях нет исходного документа и начальный набор целей необходимо вначале сгенерировать, чтобы было с чего начать построение НКЦ. Процесс генерации целей заключается в формулировке набора утверждений в форме, указанной ранее. При этом могут оказаться полезным использование принципа мозгового штурма. Формирование начального списка целей начинается без их упорядочивания, без заботы об уровнях и т. д. Важно на этом этапе сформулировать как можно больше целей, не заботясь об их логичности, реализуемости и т. п. Критика на этом этапе исключается, чтобы растормозить процесс генерации новых идей.

Далее производится переаранжировка целей. Каждая цель при такой процедуре записывается на отдельную карточку, карточки раскладываются на столе и перекладываются с места на место (с уровня на уровень) до тех пор, пока структура не приобретет необходимую логическую стройность. Обычно при этом выясняется, что некоторые цели по существу идентичны и тогда такие цели объединяются в одну цель, чем исключается избыточность НКЦ. Кроме того, может выясниться, что некая цель, заведомо необходимая, не имеет соответствующей цели вышележащего уровня, куда она могла бы входить в качестве подцели. Стало быть, эта цель вышележащего уровня не была учтена в процессе первоначальной генерации целей и теперь это упущение должно быть устранено с тем, чтобы обеспечивалась системная полнота НКЦ.

Когда определенная логичность в расположении целей достигнута, их можно перерисовать на один лист. Может понадобиться несколько циклов такой процедуры, пока будет достигнута удовлетворительная структура НКЦ. В конце процедуры в структуру добавляются необходимые логические элементы. Естественно, что в силу трудоемкости описанной процедуры ее алгоритмизация и реализация в виде отдельной программы на компьютере существенно повысят ее эффективность.

Итак, эффективная реализация второго этапа системного анализа обеспечивается использованием формализованной процедуры построения НКЦ. В результате реализации указанной процедуры достигаются следующие результаты:

- построенная таким образом НКЦ свободна от избыточности. Каждая цель, записанная в НКЦ, размещается на необходимом уровне и не дублируется другой сходной целью;

- НКЦ обладает необходимой системной полнотой. Сама процедура ее построения такова, что практически исклю-

чает возможность "выпадения" сколь-нибудь значимой цели из общей структуры;

- НКЦ с введенными в нее логическими элементами представляет собой расчетную блок-схему, позволяющую с достаточной достоверностью увязать основные характеристики реализации проекта в целом с характеристиками реализации всех отдельных фрагментов и задач. На следующем этапе системного анализа - разработке структурной схемы проектируемой системы - полезными окажутся некоторые методы структурного моделирования, рассматриваемые в следующем разделе.

2.6 Структурная классификация систем

Следующий после этапа целевыявления этап разработки структуры системы начинается с выбора обобщенной структурной схемы проектируемой или совершенствуемой системы. В настоящем разделе рассматриваются различные варианты обобщенных структурных схем, которые могут быть приняты в качестве исходных при разработке структуры конкретной системы. В процессе структурного анализа классы систем

разделяются по характеру отношений, независимо от состава элементов системы и их индивидуальных свойств. При этом для решения во-

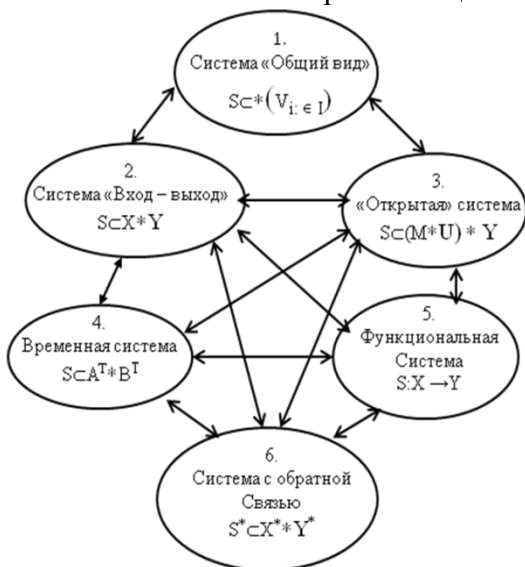


Рис. 2.8 Граф взаимосвязей между структурными классами систем

процессе структурного анализа классы систем разделяются по характеру отношений, независимо от состава элементов системы и их индивидуальных свойств. При этом для решения во-

проса о принадлежности системы к тому или иному структурному классу достаточно рассмотреть ее обобщенную математическую модель.

Как было сказано ранее математическую модель системы, описываемой соотношением (2.1), определим как отношение непустых (абстрактных) множеств, представленных в виде соотношения (2.6), и рассмотрим весьма важный класс систем, обобщенная математическая модель которых определяется соотношениями (2.6) - (2.9). Систему, обобщенная математическая модель которой определяется соотношением (2.7), можно назвать *активной*, исходя из того, что понятия *вход* и *выход* объективно могут быть определены лишь для систем, взаимодействующих со средой. При этом следует подчеркнуть существенную разницу между понятиями *вход* и *входной* объект, а также между понятиями *выход* и *выходной* объект.

Вход - это множество точек соприкосновения (терминальных точек) системы со средой, через которые среда может воздействовать на систему. *Входной объект* - это множество взаимодействующих факторов (химических, биологических, физических, информационных), приложенных к входным терминальным точкам. Аналогично, *выход* - это множество терминальных точек, через которые система может воздействовать на окружающую среду. *Выходной объект* - множество факторов, регистрируемых на этих терминальных точках.

Поскольку, как отмечалось выше, вход и выход системы различимы только в процессе взаимодействия со средой, то системы, модели которых определяются соотношением (2.7), можно называть взаимодействующими. На практике, однако, понятия "активная система" и "взаимодействующая система" могут восприниматься как определения систем более узкого класса, чем это требуется для того, чтобы соотношение (2.7) было справедливым. Поэтому системы, у которых множество терминальных точек поддается разбиению на два качествен-

но различающихся подмножества "вход" и "выход", удобнее называть битерминальными.

Поскольку организационные системы принадлежат к классу битерминальных систем и, в дальнейшем, будут рассматриваться только битерминальные системы, то для краткости термин "битерминальная" будет опускаться, хотя постоянно будут рассматриваться системы, имеющие вход и выход и удовлетворяющие соотношению (2.7).

Система может обладать определенными структурными свойствами в зависимости от характера отношений между входным и выходным объектами. По характеру этих отношений, определяемому структурой системы, последняя может быть отнесена к одному из следующих классов систем: функциональные, открытые, временные. Кроме этого, система может иметь или не иметь обратную связь. При этом система может относиться или к одному из классов, или к нескольким из них, или ко всем классам одновременно, то есть быть, например, функциональной, открытой, временной и с обратной связью.

Подмножества систем, относящихся к перечисленным классам, являются независимыми и пересекающимися. Поэтому показать взаимосвязь между названными классами в виде декомпозиционного дерева не представляется возможным. Достаточно наглядно эта взаимосвязь демонстрируется с помощью связного графа, представленного на рис 2.8.

Из множества битерминальных систем выделяется подмножество таких систем, для которых S является функцией, то есть определяется соотношением (2.8). Все системы, модель которых определяется соотношением (2.8), являются функциональными. Функциональная система отличается тем, что между входным и выходным объектами имеется функциональная связь, значение которой позволяет полностью определить выходной объект системы при заданном входном объекте и известном начальном состоянии.

При этом имеется однозначная связь между всеми компонентами выходного и входного объектов, то есть справедливым является соотношение

$$(x, y) \in S \ \& \ (x, y') \in S \rightarrow y - y'. \quad (2.11)$$

Примером чисто функциональной системы является система алгебраических уравнений, для которой все значения решений (выходной объект) полностью определяются заданными значениями коэффициентов уравнений. К функциональным системам относится также, например, рентгеновская установка, на выходе которой рентгеновский снимок воспроизводит рентгеновское (функциональное!) изображение входного объекта.

Более жестким, чем определение функциональной системы, является определение функционально управляемой системы. Система $S \subset X * Y$ является функционально управляемой тогда, и только тогда, когда

$$(\forall y \in Y)(\exists x \in X)((x, y) \in S), \quad (2.12)$$

То есть, для любого значения $y \in Y$ существует такое значение $x \in X$, что между x и y сохраняется функциональная связь, определяемая системой S . Иными словами, любое наперед заданное значение $y \in Y$ может быть получено путем подбора соответствующего значения $x \in X$.

Для значительного числа систем, с которыми приходится сталкиваться на практике, непосредственная функциональная связь между входным и выходным объектами не может быть определена ни экспериментальным, ни аналитическим путем. Особенно это относится к организационным системам. Это связано с тем, что поведение системы определяется не только задаваемыми на вход воздействиями, но и совокупностью воздействий, поступающих из внешней среды и не поддающихся управлению. Такие системы будем называть открытыми.

Более строго сформулировать понятие открытой системы можно, разделив входной объект на две составляющие, то есть $X = M \cup U$. Тогда система определяется как

$$S \subset (M * U) * Y. \quad (2.13)$$

Пусть составляющая M представляет совокупность измеримых, непосредственно наблюдаемых воздействий, а U - те входные воздействия, о которых имеется только косвенная (если она вообще есть) информация. Тогда для любого заданного $m \in M$ о соответствующей выходной величине известно лишь то, что она должна принадлежать множеству $Y_m = S(m, U_m)$. Такая система и является открытой в общем смысле.

Строго говоря, элементы “открытости” то есть непредсказуемости поведения присущи любой системе - это ошибки, сбои в работе, отказы. Вопрос лишь в том, каков удельный вес этой непредсказуемости по сравнению с функциональной управляемостью системы. Здесь уместно привести аналогию со случайными и детерминированными величинами и вспомнить, что любая измеряемая величина, относящаяся к конкретному объекту (длина, диаметр, вес и т. п.) является, строго говоря, величиной случайной. Однако если диапазон случайных отклонений величины от ее номинала не велик, то она считается детерминированной. Следовательно, открытая система при определенных условиях может быть сведена к функциональной и наоборот, как это показано на рис (2.6).

Если элементами входного и выходного объектов системы являются временные функции, то такая система будет являться *временной* системой. Для временных систем элементы входного и выходного объектов определены на одном и том же множестве моментов времени, то есть

$$X \subset A^T; \quad Y \subset B^T.$$

Таким образом, для временных систем

$$S \subset A^T * B^T.$$

Элементами множеств X и Y служат абстрактные функции времени

$$x : T \rightarrow A; \quad y : T \rightarrow B.$$

Значения функций из X и Y в момент времени t обозначаются соответственно через $x(t), y(t)$.

Если исследованию подвергаются физиологические процессы в живых организмах, в том числе и у человека, то в большинстве случаев адекватной моделью для таких процессов будут являться временные системы.

Обратная связь

Пусть некоторая система описывается соотношением $S_1 \subset (X * Z_x) * (Y * Z_y)$, то есть входной и выходной объекты разделены на два подмножества. Соединив системы так, чтобы $Z_x = Z_y - Z$, как это показано на рис. 2.9, получим систему с обратной связью $X S_2 \subset * Y^*$. Если при этом имеет место соотношение

$$(x, y) \in S_2 \leftrightarrow (FZ)((x, Z), (y, Z)) \in S_1), \quad (2.14)$$

то есть система S_2 определена, то существует отображение $F : S_1 \rightarrow S_2$, такое, что $F(S_1) = (S_2)$. Это отображение F называется

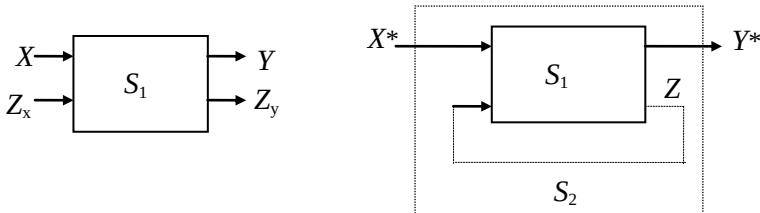


Рис. 2.9. Замыкание обратной связи

ется операцией замыкания обратной связи.

Замыкание обратной связи в системе S_1 существенно изменяет ее свойства и широко используется для придания

системам необходимых качеств. Подробнее это будет рассматриваться в последующих разделах. Подчеркнем здесь только тот факт, что при рассмотрении образующейся при этом системы на уровне модели “черного ящика”, представляемой соотношением $S_2 \subset X^* * Y^*$, существование обратной связи не обнаруживается. Это еще раз свидетельствует о недостаточной информативности модели “черного ящика”.

Связь между всеми определенными выше структурными классами систем, как уже отмечалось, представлена графом на рис. 2.8. Каждый из возможных путей в графе определяет возможное сочетание свойств, которыми может обладать система. Так, например, наличие пути 1 - 3 - 4 - 6 означает, что существует класс открытых временных систем с обратной связью.

2.7 Композиционные системы

Соединение двух или нескольких систем означает соединение выхода одной системы с входом другой системы или подачу одного и того же входного сигнала на входы двух систем одновременно. В результате такого соединения образуется новая система, которую будем называть *композиционной*.

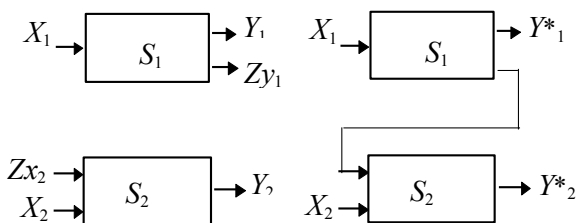


Рис. 2.10. Последовательное соединение систем

Для формализации понятия *соединение* систем определим, что класс соединяемых систем описывается в общем случае соотношением

$$S \subset (X_i^* + Zx_i) * (Y_i^* + Zy_i),$$

где Zx_i - семейство компонентных множеств входного объекта, доступных для соединения; X^*_i - семейство компонентных множеств, не доступных (или не подлежащих) соединению.

Пусть имеется две системы, описываемые соотношениями

$$S_1 \subset X_1 * (Y_1 + Zy_1); \quad S_2 \subset (X_2 + Zx_2) * Y_2. \quad (2.16)$$

При соединении этих систем способом, показанном на рис. 2.10, образуется новая система

$$S_3 \subset (X_1 + X_2) * (Y^*_1 + Y^*_2), \quad (2.17)$$

причем $Zy_1 = Zx_2 = Z$. Если эта композиционная система определена, то есть

$$((x_1, x_2), (y_1, y_2)) \in S_3 \leftrightarrow (\exists Z)((x_1, (y_1, Z)) \in S_2 \& ((x_2, Z), y_2) \in S_2),$$

то такое соединение называют каскадным или последовательным соединением.

Обобщенная математическая модель образующейся таким образом композиционной системы может быть получена из математических моделей соединяемых систем с помощью операции отображения, обозначаемой в дальнейшем символом $\otimes$. Тогда соотношение

$$S_3 \subset S_1 \otimes S_2 \quad (2.18)$$

означает, что из двух систем, описываемых соотношениями (2.16), образована новая система, описываемая соотношением (2.17).

Рассмотрим теперь две системы, которые описываются соотношениями

$$S_1 \subset (X_1 + Zx_1) * Y_1; \quad S_2 \subset (X_2 + Zx_2) * Y_2, \quad (2.19)$$

Соединив их так, что $Zx_1 = Zx_2 = Z$, как это показано на рис. 2.11, получим новую систему, описываемую соотношением

$$S_3 \subset (X_1^* + X_2^* + Z) * (Y_1^* + Y_2^*). \quad (2.20)$$

Рассмотрим теперь две системы, которые описываются соотношениями

$$S_1 \subset (X_1 + Zx_1) * Y_1; \quad S_2 \subset (X_2 + Zx_2) * Y_2, \quad (2.21)$$

Соединив эти системы так, что $Zx_1 = Zx_2 = Z$, как это показано на рис. 2.11, получим новую систему, передаточная функция которой описывается соотношением

$$S_3 \subset (X_1^* + X_2^* + Z) * (Y_1^* + Y_2^*). \quad (2.22)$$

Если образующаяся при этом композиционная система определена, то есть

$$((x_1, x_2, Z), (y_1, y_2)) \in S_3 \leftrightarrow ((x_1, Z), y_1) \in S_1 \& ((x_2, Z), y_2) \in S_2,$$

то соединение такого рода называют параллельным соединением.

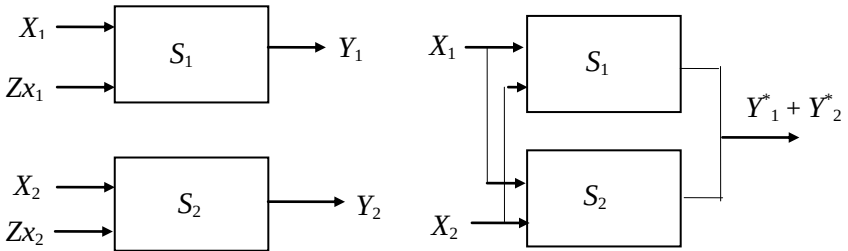


Рис. 2.11. Параллельное соединение систем

Операцию отображения для такого соединения будем обозначать символом $\oplus$. Тогда соотношение

$$S_3 = S_1 \oplus S_2 \quad (2.23)$$

будет означать, что из двух систем, описываемых соотношениями (2.21), путем соединения, показанного на рис. 2.11, образована композиционная система, описываемая соотношением (2.36).

Введенные определения последовательного и параллельного соединения систем позволяют обобщить понятие систем с обратной связью. В общем случае, система, охватываемая обратной связью, имеет в цепи обратной связи элемент, который также является системой. Образующаяся при этом композиционная система показана на рис. 2.12.

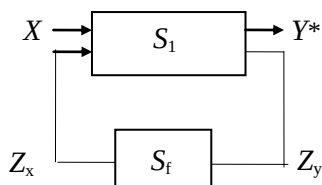


Рис. 2.12. Система с обратной связью

Обобщенная математическая модель этой системы может быть получена с помощью соотношения, содержащего оператор последовательного соединения $\otimes$ и оператор замыкания обратной связи F . В результате получаем соотношение

$$S_3 = F(S_1 \otimes S_2). \quad (2.24)$$

2.8 Математические модели композиционных систем

Содержательный смысл операторов $\otimes$, $\oplus$ и F , введенных в предыдущем разделе, зависит от способа представления математических моделей соединяемых систем. В данном разделе рассматриваются математические модели, используемые в теории систем автоматического управления (САУ).

Пусть, например, рассматривается случай соединения двух систем автоматического управления. В качестве математических моделей, отображающих функциональные свойства таких систем, обычно используют так называемые передаточные функции $h(t)$, с помощью которых описывают временной процесс, возникающий на выходе системы (отклик системы) $y(t)$ при подаче на ее вход некоторого воздействия $x(t)$. Из теории САУ известно, что связь между воздействием

$x(t)$ и откликом $y(t)$ определяется соотношением, являющимся интегральной сверткой двух функций и имеющим вид

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)h(t - \tau)d\tau. \quad (2.25)$$

Тогда операцией отображения для передаточной функции композиционной системы, образованной последовательным соединением двух систем, будет также являться операция интегральной свертки, имеющая вид

$$h_3(t) = h_1(t) \otimes h_2(t) = \int_0^t h_1(\tau)h_2(t - \tau)d\tau. \quad (2.26)$$

Обычно при анализе САУ широко используется операционное исчисление, основанное на преобразовании Лапласа [2]. При этом вместо временных передаточных функций $h(t)$ используются их Лапласовы изображения $h(p)$. Если анализ ведется в области изображений, то оператор последовательного соединения означает простое алгебраическое перемножения изображений $h_i(p)$ соединяемых систем. Соотношение (2.19) при этом переходит в соотношение

$$h_3(t) = h_1(t) \otimes h_2(t) \Rightarrow h_3(p) = h_1(p)h_2(p), \quad (2.27)$$

где $\Rightarrow$ - символ перехода из области оригиналов в область Лапласовых изображений. Соответственно, для параллельного соединения, показанного на рис. 2.11, имеем

$$h_3(t) = h_1(t) \oplus h_2(t) \Rightarrow h_3(p) = h_1(p) + h_2(p). \quad (2.28)$$

Операция охвата системы обратной связью, имеющей в своем контуре элемент обратной связи S_f , как это показано на рис 2.12, в области Лапласовых изображений записывается в виде соотношения

$$h_3(t) = F\{h_1(t) \oplus h_f(t)\} \Rightarrow h_3(p) = h_1(p) / [1 + h_f(p)h_1(p)] \quad (2.29)$$

2.9 Модели декомпозиции систем

Опираясь на введенные понятия об операторах соединения систем, мы можем дать математическое определение *декомпозиции* системы. Пусть $S \subset X * Y$ - модель общей системы. Подсистемой этой системы может быть названо любое подмножество элементов, образующих в своей совокупности систему, описываемую соотношениями $S' \subset S$; $S' \subset X' * Y'$; $X' \in X$; $Y' \in Y$. В свою очередь, элементами системы являются все те системы, из которых с помощью основных операций соединения можно получить исходную систему.

Если в результате декомпозиции системы S получено две таких подсистемы S_1 и S_2 , что исходная система $S = S_1 + S_2$, то эти системы образуют независимую декомпозицию системы S . Независимая декомпозиция $S_1, S_2, \dots, S_n$, где $S_1 + S_2 + \dots + S_n = S$, называется *максимальной* если для любого S_i не существует независимой декомпозиции. Если нетривиальной независимой декомпозиции не существует для всей системы в целом, то такую систему будем называть *интегрированной*.

2.10 Следящие системы

Весьма важную роль в теории САУ играет особый класс систем называемых *следящими* системами. Значительное большинство организационных систем также обладает рядом существенных признаков следящих систем. В настоящем разделе рассматриваются обобщенные математические модели этих систем.

Рассмотрим схему композиционной системы, представленную на рис. 2.15. Пусть $S \subset X_0 * Y$ - некоторая функционально управляемая система, и элемент $H : X * Y \rightarrow X_0$ обозначает входной каскад. Если функцией элемента H является преобразование входного объекта $X * Y$ в разность $X - Y$, то есть $H : X * Y \rightarrow H_0 = X - Y$, а функцией системы S такое преобразование $X \rightarrow Y$, что разность $X - Y$ преобразуется

в пустое множество, то функционально управляемую систему

$$S^* : X \rightarrow Y : X - Y = \emptyset \quad (2.30)$$

будем называть *следающей* системой

Принцип работы следящей системы можно пояснить на простом примере, когда входной объект состоит только из одного элемента $X = x$, а функцией системы S является линейное преобразование, заключающееся в умножении элемента x_0 на некоторый постоянный множитель K (называемый в теории САУ коэффициентом усиления), то есть $S : x_0 \rightarrow Kx_0$. Тогда из равенств

$$x_0 = x - y; \quad y = Kx_0 = K(x - y)$$

следует

$$y = \frac{K}{1 + K} x = \frac{x}{1 + 1/K} \quad (2.31).$$

Таким образом, при достаточно больших значениях K элемент выходного объекта y принимает значение сколь угодно близкое к значению элемента входного объекта x , то есть выходной объект *отслеживает* и воспроизводит значение входного объекта.

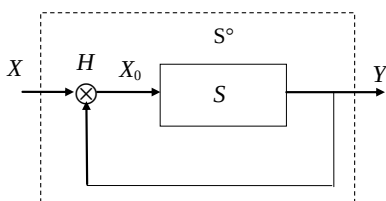


Рис.2.15. Блок - схема следящей системы

Следящая система является обобщенной моделью любой произвольной системы управления. При этом система S представляет объект управления, а элемент H - блок измерения согласования. Измеренное рассогласование в общем случае поступает на блок выработки управляющих воздействий, подаваемых на управляемую систему с целью приведения ее в состояние, соответствующее наименьшему рассогласованию между входным и выходным объектами. Таким образом,

назначением системы S^* является постоянное отслеживание входного объекта X , откуда и следует название *следающая* си-

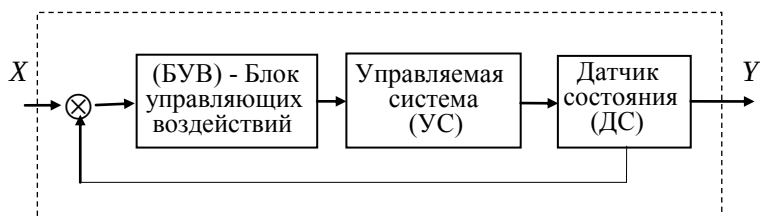


Рис. 2.16. структурная модель следящей системы

стема. Множество X в данном случае является целевым объектом системы S^* .

В общем случае между измерителем рассогласования H и управляемой системой (УС) включается блок выработки управляющих воздействий (БУВ), а обратная связь на измеритель рассогласования подается через специальный блок - датчик состояния (ДС), как это показано на рис. 2.16.

Необходимость включения блоков БУВ и ДС диктуется тем обстоятельством, что в сложных системах компоненты целевого объекта, показатели состояния управляемой системы и те воздействия, которые необходимо подавать на управляемую систему, чтобы приводить ее состояние в соответствие с поставленными целями, имеют, как правило, различную физическую природу. Поэтому указанные блоки необходимы для согласования физической размерности всех взаимодействующих параметров.

Литература

1. Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Проблемы методологии системного анализа. - М.: Наука, 1970. - 456 с.

3. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. - М.: Наука, 1973
4. Голубков Е. П. Системный анализ как направление исследований. – В сб.: Системные исследования. М.: Наука, 1976, с. 119-129.
5. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учебное пособие. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. – 232 с.
6. Клиланд Д. И., Кинг В. Р. Системный анализ и целевое управление. Пер. с англ. – М.: Сов. Радио, 1974. – 280 с.

Глава 3. Системная инженерия

В главе 1 был кратко рассмотрен процесс эволюции систем. Если по отношению к естественным физико-механическим системам процессы зарождения, эволюции и последующего отмирания управляются общими законами природы, то для биологических систем преобладающим фактором становятся мотивационные аспекты эволюции живых организмов. Для искусственных систем эти аспекты являются решающим фактором, а сами процессы зарождения, эволюции и последующего отмирания искусственных систем управляется путем реализации процедур и методов междисциплинарной области знаний, именуемой *Системная инженерия*.

3.1 Определение системной инженерии

Одно из определений сущности Человека гласит, что истинно человеческими у него являются лишь две функции: Познание Нового и Создание Прекрасного. С самого начала своего сознательного существования человечество постоянно стремится расширять и углублять знание окружающего мира.

Однако человек не просто познает новое как пассивный созерцатель, Весь интеллектуальный потенциал накопленных новых знаний человечество использует для *создания нового*. Человек не просто живет в познаваемом им окружающем мире, а непрерывно изменяет его. Он активно вмешивается в природные процессы, создавая свой *рукотворный* мир. Этим понятием “рукотворный мир” можно назвать всю совокупность объектов, систем, предметов труда, быта, искусственных сооружений и т. п., то есть все то, что окружает современного человека с самого момента рождения и до глубокой старости. И если эффективным инструментом познания окружающего мира является системный анализ, то совокупность формализованных и эвристических методов и процедур, базирующихся на принципах системного подхода и используемых в процессе *создания* рукотворного мира, может быть названа *системной инженерией*. Следует отметить, что этот термин является не вполне удачным (в плане семантики) переводом английского термина System Engineering. Лучше было бы использовать термин *Инженерия систем*. Но, термин системная инженерия закрепился в русской литературе и, поэтому так и будет использоваться в последующем изложении.

Для того чтобы уяснить содержание методов и процедур, относящихся к системной инженерии, целесообразно провести морфологический анализ ее области деятельности и построить морфологическую модель. Морфология, являющаяся одним из направлений системного анализа, изучает структуры и формы. Морфологический анализ означает декомпозицию общей проблемы или системы по основным направлениям (основаниям декомпозиции), каждая из которых становится одним из измерений морфологического “каркаса” изучаемой проблемы. Если после построения этого каркаса будут найдены (или постулированы) значения каждой из переменных, то совокупность всех этих значений и определяет вариант решения проблемы или специфицирует

общую систему. Этот подход является эффективным средством анализа альтернатив и в данной главе будет использован для построения морфологической модели системной инженерии.

3.2 Структура морфологической модели

Поскольку объектом приложения системной инженерии являются изделия (системы) рукотворного мира, то логично для морфологической модели системной инженерии выбрать те измерения, которые органично отражают суть процесса создания объектов рукотворного мира. Можно сказать, что для любого объекта рукотворного мира существует ограниченный временной интервал его существования, начиная от замысла этого объекта, до его утилизации. Этот интервал называют жизненным циклом изделия. В качестве одного из измерений морфологической модели системной инженерии примем временную шкалу, разделяемую на сегменты вехами основных решений. Интервалы между этими вехами являются стадиями жизненного цикла изделия от зарождения первых идей по его созданию до полного физического (или морального) износа и последующей утилизации. В качестве второго измерения будет использоваться процедурная шкала, разделенная на этапы системного анализа (анализ проблемной ситуации, формирование набора целей и т. д.). Отображая поток логических процедур (а не интервалов времени), эта шкала отображает тонкую структуру системной инженерии.

Третье измерение отображает совокупность фактов, моделей и процедур, определяющих дисциплину, профессию или технологию. Возможной мерой для этой шкалы (мерой сложности) является степень “неподатливости” данной дисциплины процессам формализуемости и “математизации”. По возрастающей степени этой “неподатливости” различные дисциплины на этой шкале могут быть расположены в следующей последовательности: общая инженерия (строи-

тельство, машиностроение, кораблестроение, самолетостроение, радиоприборостроение и т.п.), медицина, архитектура, бизнес, менеджмент, юриспруденция и право, социальные науки, искусство.

Комбинация первых двух измерений образует двухмерную морфологическую модель методологии системной инженерии.

3.3 Матрица активности системной инженерии

Двухмерная морфологическая модель методологии системной инженерии формализует ее поле деятельности, инвариантное по отношению к профессиям, поскольку оно не содержит фактов, моделей объектов, технологий и т. п., относящихся к конкретной области профессиональной деятельности. С учетом того, что системная инженерия ориентирована на абстрактные модели, концепции, процедуры, применимые ко всем профессиональным областям, она является “производной” профессией.

Этапы системного анализа (тонкая структура)		1	2	3	4	5
Стадии жизненного цикла продукта (грубая структура)		Анализ проблемной ситуации	Формирование целей и критериев	Определение состава функций	Формирование структуры системы	Проверка реализуемости (внедрение)
1	Выявление потребности	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
2	Формирование программ	a_{21}	...	...	...	...
3	Планирование	...	...	a_{33}	...	a_{35}
4	Разработка	...	a_{42}	...	...	...
5	Производство	a_{51}	...	...	...	a_{55}
6	Сбыт и эксплуатация	...	...	a_{63}	...	...
7	Утилизация	a_{71}	...	...	...	a_{75}

Рис. 3.1. Матрица активности системной инженерии

На рис. 3.1. представлена двухмерная модель, которую можно назвать “матрицей активности” системной инженерии.

рии, поскольку каждый элемент этой матрицы определяет на пересечении стадии жизненного цикла и этапа системного анализа специфичный вид деятельности. Модель отображает обширную панораму видов деятельности, включая разработку, которая центрируется возле стадии 4.

Указанные на рис. 3.1. стадии и этапы приведены в укрупненном виде. При более детальной проработке каждая из стадий и каждый из этапов могут быть, в свою очередь, разделены на несколько подэтапов. Например, этап 4 “Формирование структуры системы” может быть разделен на три подэтапа. На стадии разработки системы можно выделить такие фазы как эскизное проектирование, разработка рабочего проекта, модельный эксперимент, натурный эксперимент. На стадии формирования программ руководство организации стремится выявить все фазы деятельности по планированию. В частности, в области управления финансами это означает формирование портфеля заказов.

Стадия проектного планирования отличается от стадии формирования программ тем, что теперь интересы фокусируются четко на одном из проектов, выбранных на предыдущей стадии из всей совокупности альтернативных программ. Финальный маркер для этой стадии появляется тогда, когда будет достигнуто решение о создании наилучшей из альтернативных систем, отобранных на стадии формирования программ, и теперь намечаются варианты наиболее эффективной реализации проекта.

Эта, или любая другая стадия может быть определена в терминах последовательных фаз, которые покрывают ее. Таким образом, проблема определения вида деятельности **a₁₃** включает изучение потребности и окружения, сбор и анализ данных, которые будут использованы при формулировке проблемы. При разработке критериев оценки параметров системы на стадии формирования программ (ячейка **a₂₂**) эти данные используются для определения целевых состояний и

нормативного задания критериев (обычно многомерных) для оценки и выбора альтернатив.

Синтез системы подразумевает компиляцию всех отобранных альтернатив, чья совокупность систематически сужается по мере прохождения этапов системного анализа. Эта последовательность оценивается и комбинируется в соответствии с правилами, установленными системой оценок на этапе принятия решений при отборе наилучших альтернатив. Рациональный выбор альтернатив требует, чтобы каждая система соответствовала в наивысшей степени тем целевым показателям, которые были установлены в системе оценок. В этом заключается роль пятого этапа системного анализа, на котором осуществляется проверка этого соответствия и, при необходимости, дополнительная оптимизация. Имея в виду, что фаза оптимизации по существу представляет итеративный процесс реализации предыдущих четырех этапов системного анализа, ее можно не выделять в отдельный этап. Поэтому на рис. 3.1. эта фаза включена в состав пятого этапа и отдельно не представлена.

На финальном этапе стадии планирования действий (ячейка **а₃₅**) осуществляется сбор и анализ результатов, планирование усилий и размещения ресурсов, определяется, каким образом будут измеряться показатели в системе “план - эффективность”, а также создается петля обратной связи для контроля реализации программы. Поэтому пятый этап системного анализа на этой стадии и является для нее этапом “внедрения”. То есть переход к стадии разработки системы означает внедрение стадии планирования. Теперь открывается новый цикл этапов системного анализа, на котором имеют дело с компонентами системы, а не с общими альтернативами. Для этого цикла фаза внедрения заканчивается подготовкой детальной спецификации, доставанием и закупкой материалов для конструирования и производства создаваемой системы.

На стадии производства или конструирования осуществляются этапы системного анализа необходимые для того, чтобы воплотить в жизнь создаваемую систему. Для нового строительства генподрядчик разрабатывает архитектурный план, используя для этого поэтажный план и спецификацию, разработанные им и его консультантами. Для нового товара технологи разрабатывают технологическую цепочку, графики потоков сырья и полуфабрикатов, конвейерные линии, необходимые инструменты и приспособления, а также испытательные стенды, посты контроля качества и т. д.

Далее следует стадия доставки товара потребителю и организация сбытовой сети. Сбытовая сеть может включать в себя все виды сбытовых организаций: торговые организации, коммивояжерская сеть, центральные и локальные склады и т. п. По завершению этой стадии начинается стадия “активной жизни” товара, системы, изделия, то есть стадия эксплуатации, ради которой и были реализованы все предыдущие стадии. Произведенный и доставленный потребителю продукт на стадии эксплуатации (функционирования) может иметь очень долгую активную жизнь (например, гидроэлектростанция) или, наоборот, очень короткую (новый тип расфасованных продуктов быстрого приготовления). Стадия функционирования перекрывается в большей или меньшей мере фазами распределения и износа (физического и/или морального) в зависимости от числа задействованных систем и продолжительности периодов фазы “вхождения” в эксплуатацию и фазы “выхода”. В любом случае именно на стадии функционирования открывается наибольший простор для использования всего арсенала методов системной инженерии.

В продолжение этой фазы возникают многие проблемы не созидательного свойства такие, как разработка оптимальных методов реализации стадии функционирования. Эти проблемы в подавляющем большинстве случаев могут быть

эффективно разрешены путем рециркулирования пяти основных этапов системного анализа.

В конце стадии активной жизни любая система вступает в фазу износа, или, вследствие морального старения, на смену существующей системе должны прийти новые системы. На этой фазе, как и на всех предыдущих вновь “прокручивается” весь цикл этапов системного анализа и реализуется стадия утилизации продукта. Для некоторых продуктов таких, например, как продукты атомной промышленности, полномасштабная и эффективная реализация стадии утилизации продуктов, у которых закончился жизненный цикл, имеет большое значение для судеб всего человечества (проблема захоронения радиоактивных отходов). Для других не проработанность и незавершенность фазы утилизации ведут не к столь грозным и быстродействующим последствиям, которые, однако, в отдаленной (и, чаще всего в не столь отдаленной) перспективе сулят человечеству весьма неприятное будущее. Это, например, активное загрязнение окружающей среды остатками различных искусственных материалов (одежды, упаковок и т. п.), которые являются чужеродными природной среде, ею не усваиваются и не подвергаются естественному разложению.

3.4 Концептуальная модель создания и воспроизводства рукотворного мира

Обратимся вновь к матрице активности системной инженерии, состоящую из 35 видов деятельности, сформированную грубой и тонкой структурами системной инженерии. Хотя деятельность в каждом элементе этой матрицы специфична, однако их сходство (по строкам и по колонкам) и взаимосвязь позволяют все знания и опыт, накопленные в одной из ячеек, использовать в соседних ячейках. Конечно, набор целей, сформированный на стадии планирования, скорее всего не пригоден на стадии утилизации. Однако глубокое знание того, как надо формировать систему целевых показате-

лей и критериев, является полезным для любой стадии разработки и может обеспечить формирование весьма конструктивной нормативной карты целей для каждой фазы жизненного цикла.

Описанную модель системной инженерии можно развернуть в модель создания и развития рукотворного мира. Процесс создания и развития рукотворного мира - имманентное свойство цивилизации. Рукотворный мир - необходимая среда обитания цивилизации и неизбежный продукт ее деятельности. Принято считать, что наличие на планете рукотворного мира является несомненным признаком наличия на ней цивилизации.

На рис. 3.2 представлена иллюстративная модель временного циклического процесса создания и развития *рукотворного мира*. Ее можно представить в виде гигантского “антиэнтропийного насоса”, на вход которой поступают сырье, человеческий труд и энергия.



Рис.3.2 Системная модель создания и развития рукотворного мира

Компоненты этого “входного объекта”, обладающего повышенной энтропией, проходят по всем стадиям жизненного цикла и на каждой стадии “прокручиваются” по этапам системного анализа, что приводит к понижению энтропии. В

результате комплексной переработки компоненты входного объекта превращаются на выходе в поток материальной продукции, энергию, информацию. Кроме этих объектов материального мира на выходе нашего фантастического трансформатора цивилизация получает новый опыт и ... новые потребности, объем которых (к сожалению или к счастью?) нарастает все более интенсивно по мере того, как удовлетворяются существующие потребности.

Кроме желательных компонентов “выходного объекта” заметную долю в нем составляет утиль. Первоначально заметная доля утиля содержится в компонентах антиэнтропийного насоса непосредственно на его выходе в виде неизбежных отходов производства. Но, по мере старения, естественного физического и морального износа, вследствие различных природных факторов (стихийные бедствия: наводнения, пожары, землетрясения, аварии и т. п.) и разрушающих действий самого человечества (терроризм, локальные политические и национальные конфликты, войны, неразумные гигантские проекты и т. п.), в утиль превращается вся произведенная продукция, включая казавшиеся блестящими достижения науки и культуры.

Показанный на рис 3.2 трансформатор энтропии работает с положительной обратной связью, поскольку большая часть производимой энергии вновь направляется на его вход. Туда же направляется и человеческий труд, воспроизводимый на выходе в значительно большем объеме, чем труд, поступающий на вход. Небольшая доля этого прироста труда связана с простым воспроизводством, обусловленным увеличением численности человечества. Однако, неизмеримо большая доля связана с многократным повышением эффективности труда, поскольку труд на выходе трансформатора обогащен всем накопленным новым опытом и новыми знаниями и оснащен всеми новейшими достижениями науки и техники.

Помимо интенсивного возрастания потока энергии и труда, поступающих с выхода на вход, качественно изменяются и возрастают продуктивные возможности поступающего сырья, ибо новые знания и опыт позволяют использовать его с постоянно нарастающей эффективностью.

3.5 Трехмерная морфологическая модель системной инженерии

Совершенно очевидно, что представленная на рис. 3.1. двухмерная морфологическая структура, например, в области электронных средств коммуникации существенно отличается от таковой в области проблем медицины или мостостроения.

Отсюда следует, что прекрасное владение всеми методами и моделями для всех видов деятельности в рамках двухмерной матрицы активности системной инженерии не является достаточным, чтобы достичь сколь-нибудь конструктивного понимания и пользы в конкретной области реального мира, где требуется иметь специфические профессиональные знания и должна использоваться специфическая технология.

Это приводит нас к третьему измерению, по оси которого размещаются области деятельности, которые называются профессиями, дисциплинами или технологиями. В соответствии с этим на рис. 3.3. представлена трехмерная морфологическая модель системной инженерии. В рамках этой модели можно с большей пользой говорить о таких определенных видах деятельности как, например, принятие решений по формированию набора целей в бизнесе на стадии выявления потребности (ячейка A_{124}) или на стадии функционирования (эксплуатации) в медицине (ячейка A_{622}), которая соответствует принятой практике профессионалов в медицине.

Итак, любой вид активности по созданию, использованию или утилизации какого бы-то ни было объекта рукотворного мира, непременно соприкасается с тремя измерени-



Рис. 3.3. Морфологическая модель системной инженерии

ями морфологической модели, представленной на рис. 3.3. Анализ этой модели позволяет получить представление о можно столкнуться на Земле. В модели на рис. 3.3. представлено всего $7 \times 5 \times 8 = 280$ ячеек. Это, конечно, мизерная доля от реально существующих видов деятельности.

Неизмеримо большее их число можно получить из рассмотренной морфологической модели, если ввести дополнительные подразделения на подэтапы, фазы и т. д. Дополнительно большое количество будет получено, если более детально представить третье измерение (по видам профессий, дисциплин и т. д.). Его можно расширить так, чтобы действительно охватить, хотя бы в укрупненном виде, основные области профессиональной деятельности человека. Достаточно указать, что в модели не показаны такие обширные области, как образование, спорт, наука и т. д.

Тем не менее, даже в столь сверх укрупнённом виде представленная модель позволяет судить о возможном наборе профессиональных ориентаций и об их системной взаимосвязи.

Совершенно очевидно, что овладеть полным набором знаний и опыта, необходимых для эффективной деятельности в любой из 280 ячеек, невозможно. Реально можно говорить о профессионале, владеющем необходимым набором методов в пределах нескольких ячеек, соседствующих по осям стадий жизненного цикла и этапов системного анализа и находящихся в одной из плоскостей, относящихся к определенной профессиональной области. Например, это может быть специалист, работающий в области медицины, способный эффективно заниматься анализом проблемной ситуации и формированием набора целей на стадиях выявления потребностей и формирования программ. То есть область его профессиональной деятельности сосредотачивается в пределах ячеек a_{112} , a_{122} , a_{212} , a_{222} и эта область является центральным ядром его профессиональной ориентации. Конечно, его деятельность может распространяться и на соседние ячейки a_{132} , a_{312} и т. д. Однако, чем дальше специалист заходит в своей деятельности от центрального ядра своей профессиональной ориентации, тем менее конструктивной и полезной становится его деятельность.

Эту закономерность необходимо учитывать при формировании профессиональной структуры кадрового состава любой организации. Определив область видов деятельности для всей организации в целом, далее следует “заполнить” эту область специалистами различного профиля таким образом, чтобы в области, очерченной для организации в целом, не оставалось бы заметных “пустот”, но и, с другой стороны, не образовывалось больших “перекрытий”. Это лишь небольшой пример возможности практического применения морфологической модели системной инженерии и число ва-

риантов таких возможных применений практически неисчерпаемо.

Глава 4 Модели анализа и проектирования организационных систем

4.1 Структурные характеристики организационных систем.

В главе 1 при классификации систем по признаку независимости структуры действий и структуры функций от окружающей среды был выделен класс целеустремленных систем 3.3. (систем мотивационного управления), которые обладают высшей степенью независимости от окружающей среды, как по структуре действий, так и по структуре функций. Эти системы могут продуцировать функциональные результаты одного типа различными структурными способами действий и, наоборот, при одном структурном способе действий достигать различных функциональных результатов. При этом ни выбор функционального результата, ни выбор структуры действий не предопределяется однозначно окружением. Такие системы возникают или создаются путем инициативного объединения индивидов в группы, действующие согласованно для достижения своих целей или организуемых целенаправленно для выполнения возлагаемых на них функций. В любом случае согласованные действия таких групп возможны только при наличии *организации* взаимодействия между индивидами, входящими в состав группы.

Такие группы могут возникать или создаваться для достижения кратковременных целей – спортивные команды, группы альпинистов, спасательные экспедиции и т. п. А могут организовываться и на длительный период для выполнения определенных функций. В этом случае для организации

взаимодействия участников такой группы и обеспечения ее эффективного функционирования формируется система управления, и группа приобретает признаки организационной системы.

Вопросы совершенствования управлением организационными системами, в состав которых неотъемлемой частью входят человеческие коллективы, постоянно имел и имеет большую актуальность. Наличие в системе людей, участвующих, как в процессе производства, так и в процессе управления, существенно усложняет целенаправленное воздействие на такие системы. Это обусловлено, прежде всего, тем, что здесь действуют люди, одаренные сознанием, поступающие обдуманно или под влиянием страсти, стремящиеся к определенным целям. Таким образом, по формальному признаку - составу элементной базы организационная система (*OC*) как *объект* определяется соотношением

$$OC = \text{Def}[(a)A \& (e)E \& \mathcal{R}(a,e) \Rightarrow (\exists P)(P \cap (A \cup E) = \emptyset)] , \quad (4.1)$$

где *(a)* - совокупность антропологических звеньев, обладающих множеством свойств *A*;

(e)- совокупность эргатических звеньев, обладающих множеством свойств *E*.

Организационные системы сами определяют и структуру действий, и структуру функций, руководствуясь при этом намеченными целями. Поэтому оргсистемы обычно относят к классу *целеустремленных* систем. Тот факт, что в системе работают люди, является необходимым, но не достаточным условием для более детальной ее классификации. Дополнительным классификационным признаком для отнесения организационной системы к тому или иному подклассу является уровень ее организованности. Простейшим уровнем организованности обладает некоторая совокупность людей, образующих то, что называется организованной группой.

Организованная группа - это *целеустремленная система*, участниками которой являются *целеустремленные ин-*

дивиды, умышленно сопродуцирующие достижение общей цели (группа туристов, спортивная команда в действии: игра, выступление)

Общая цель - некоторый результат, к которому стремится каждый участник организованной группы.

Цели участников могут быть аналогичными, но не общими: например, у двух соперничающих спортивных команд цели аналогичны - победить, но не общие, ибо каждая команда стремиться стать победителем самой, а соперник (тоже желающий победить) чтобы оказался проигравшим. Стремление сопродуцировать достижение общих целей - это тот фактор, который обуславливает *взаимодействия*, объединяющие индивидов в организованную группу. Если участники организованной группы распределены в пространстве и во времени, то сложность общения, необходимого для осуществления общих целей, ставит массу вторичных задач перед группой по *организации* взаимодействия. Иногда эти дополнительные функции по организации выполняет один или несколько из участников группы, а зачастую появляется необходимость, чтобы некоторые из участников занимались только организацией, не выполняя при этом никаких иных функциональных обязанностей.

Наличие общей цели отнюдь не снимает проблемы конфликтов, ибо представления и о самой конечной цели (выражаемой иногда в довольно абстрактных терминах), а, тем более, об эффективности промежуточных целей, а также о допустимости выбора различных способов действий, могут у разных участников группы быть различными. Кроме того, проявляются факторы, приводящие к сравнительному безразличию или независимости по отношению к достижению общей цели. Такие конфликты мешают сотрудничеству, нарушают общение и подрывают единство группы. Поэтому организация в группах должна быть адаптивной и приспособленной к тому, чтобы улаживать конфликты и обеспечи-

вать нормальное общение и сотрудничество в достижении общей цели.

По мере того, как обобщается (интегрируется) общая цель, она становится уже не персональной целью каждого индивидуума (например, дойти до вершины - как у группы альпинистов), а неким фундаментом, основой для реализации совокупности персональных целей (повысить личное благосостояние, самоутвердиться, получить удовольствие и пользу от ценного общения, научиться чему-то новому и т. д.). И тогда мы говорим об организационной системе, для которой вводится еще одно определение.

Организационная система - это развитая организованная группа, участниками которой являются целеустремленные индивиды, персональные цели которых связаны между собой единством общей цели, однако эта общая цель не является персональной целью каждого из участников, а ее достижение является лишь условием достижения этих персональных целей.

Наиболее развитой формой организационной системы является *организация*, для которой, как для целостного образования характерно наличие таких признаков, как *разделение труда, ответственность, власть*.

Функциональное разделение труда в организационной системе означает, что все операции и действия, которые необходимо произвести, разбиваются на разнохарактерные совокупности. Выполнение этих действий поручается различным группам, для которых формулируются соответствующие подцели. Разбиение общей цели на множество подцелей всегда можно произвести различными способами. Поэтому разные системы с аналогичными целями могут быть организованы по-разному, а отдельно взятая организация может реорганизовываться, не изменяя при этом своей цели.

Один индивид в организации может входить не только в одну, но и в несколько подгрупп, но никакие подгруппы не могут иметь совершенно одинаковые составы (иначе они

сливаются в одну подгруппу). Каждый из участников организации входит, по крайней мере, в одну из подгрупп. В предельном случае эта подгруппа может состоять из одного участника.

Распределить подцели по подгруппам - это значит возложить на них ответственность за их выполнение. Если подгруппа берет на себя такую ответственность, то тем самым она признает право организации или какого-то ее представителя наказывать участников этой группы в случае их неудовлетворительной работы. То же самое относится и по отношению к каждому индивиду, присоединившемуся к организации и принявшему на себя некоторую роль. Из этого вытекает необходимость введения двух понятий.

Организационная ответственность индивида А перед другим индивидом В имеет место тогда, когда В может наказать А в случае неудовлетворительного выполнения последним его обязанностей, не вступая с ним в конфликт.

Организационная власть индивида А над индивидом В заключается в его праве задавать и переопределять подцели, достижение которых вменяется в обязанности В. А если вклад В в достижение целей организации, по мнению А неудовлетворителен, то А может наказать В, не вступая с ним в конфликт.

В общем случае функциональное разделение труда в организационной системе подразумевает:

1. Разделение общей цели на множество подцелей, каждая из которых необходима, а все в совокупности достаточны для достижения общей цели в некотором окружении.
2. Вхождение каждого участника системы, по крайней мере, в одну из подгрупп.
3. Различие по составу между любыми двумя подгруппами.
4. Закрепление за каждой подгруппой ответственности за достижение одной или нескольких подцелей.

5. Наличие у каждой из подгрупп своего собственного множества подцелей, не совпадающего с множеством подцелей любой другой группы.

Организационная система, в которой имеется функциональное разделение труда, перечисленные признаки которого закреплены совокупностью регламентирующих документов и правил, и является организацией.

Категория признака	Содержание признака
По составу элементной базы	Содержит эргатические и антропологические звенья (звенья, в которых работают люди)
По степени свободы выбора структуры действий и структуры функций	Произвольная структура действий и произвольная структура функций, независимые от окружения (целеустремленная система мотивационного управления)
Общесистемные признаки	Респонзивная открытая система
По степени организованности	Функциональное разделение труда, ответственности и власти закреплено регламентирующим документом (совокупностью документов)

Табл. 4.1. Сводная таблица отличительных признаков организации как системы

А присущий данной организации способ разбиения общей цели на подцели и распределение обязанностей между подгруппами называется ее *организационной структурой*.

Подводя итог данного раздела и с учетом сказанного в предыдущих разделах отличительные свойства организации как системы можно представить сводной таблицей 4.1.

Для того чтобы спроектировать организацию, обладающую всем набором перечисленных выше признаков и способную, в принципе, успешно функционировать, разработан специальный алгоритм, рассматриваемый в следующем разделе.

4.2 Обобщенный алгоритм проектирования организации

Всякая организационная система, так же как и любой другой объект рукотворного мира, проходит через основные стадии жизненного цикла, начиная с момента своего зарождения. И на каждой стадии жизненного цикла могут быть эффективно использованы процедуры основных этапов системного анализа. После прохождения этапов анализа проблемной ситуации, формирования набора целей, анализа функций и предварительного формирования структуры будущей системы проводится пятый этап, на котором учитываются внешние условия.

При учете внешних условий, действующих на входы функционирующей организационной системы, которая является открытой для вещества, энергии и информации, воздействующих на ее входы и выступающих либо как ограничивающие, либо как содействующие факторы, может оказаться, что среда не дает возможности выбора удовлетворительных средств для совершенствования существующей, либо создания новой системы. В этом случае применение системного подхода приведет к обоснованию отказа от нереальной цели.

В тех же случаях, когда на основе обобщенного системного анализа выявлена принципиальная возможность получения положительного решения, то есть проектирования новой организационной системы, либо совершенствования существующей путем внедрения современных информационных технологий, встает вопрос о выборе соответствующей методологии проектирования. При этом следует подчеркнуть, что задача разработки проекта совершенствования для существующей организационной системы, по существу, совпадает с задачей проектирования новой организационной системы, оснащенной средствами информационной технологии.

Развитие методологии исследования и проектирования сложных систем является одним из главных направлений системной инженерии и направлено на перевод эвристических процедур анализа и синтеза систем в формализованные процедуры. Хотя полностью исключить творческий, эвристический этап в исследовании сложных систем нельзя, тем не менее, в системной инженерии уже сделаны первые шаги перехода от философско-методологических рекомендаций к предложению более конструктивных методов, допускающих, по крайней мере, частичную формализацию. Так, например, был разработан обобщенный алгоритм проектирования организационных систем, описываемый ниже [9].

Алгоритм разрабатывался с учетом следующих требований, которые представляются наиболее существенными при решении вопроса о предпочтительности того или иного алгоритма и о критериях, по которым эти алгоритмы могут сравниваться, с учетом накладываемых на них ограничений:

- алгоритм проектирования должен приводить к конечному результату (проекту организационной системы) за конечное время, то есть он не должен содержать тупиковых ветвей и бесконечных циклов;

- поскольку процесс проектирования организационных систем неизбежно должен быть содержательно формальным, то есть наряду с содержательными процедурами он должен содержать процедуры эвристические, выполняемые экспертами, то алгоритм проектирования должен обеспечивать полную стыковку и взаимное использование результатов, получаемых различными методами;

- эвристические операторы алгоритма должны конструироваться с учетом всех особенностей восприятия и переработки информации человеком;

- конечный результат работы алгоритма (проект организационной системы) должен быть реалистичным, то есть алгоритм должен содержать этапы, на которых осуществляется

учет ограничений на ресурсы (материальные, информационные, временные), выделяемые для реализации системы.

Алгоритм, удовлетворяющий перечисленным требованиям, представлен на рис. 4.1. и состоит из следующих пяти этапов, последовательность которых соответствует пяти основным этапам системного анализа, однако более детализирована применительно к конкретной задаче проектирования.

1. *Этап формулировки глобальной цели* создаваемой системы. Входной информацией, используемой на этом этапе, является описание проблемной ситуации и концептуальная модель системы, предназначенная для ликвидации выявленной проблемной ситуации, либо для максимально возможной компенсации ее последствий. Учитывая содержательный характер описания проблемной ситуации, исполнителями данного этапа являются эксперты в сотрудничестве с системными аналитиками. В том случае, когда ставится задача не создания новой организационной системы, а совершенствования существующей, глобальная цель может синтезироваться на основе изучения соответствующих директивных документов.

2. *Этап анализа и декомпозиция глобальной цели*, то есть разделение ее на такие подцели, ответственность за реализацию которых может быть возложена на отдельные подсистемы. В случае выявления большого количества подцелей часть из них агрегируется, то есть собирается в подгруппы, в которых агрегируемые подцели объединяются по функциональному признаку. По завершении второго этапа создается дерево целей, являющееся направляющей основой для дальнейших этапов проектирования. Входной информацией для данного этапа является формулировка глобальной цели и концептуальная модель системы.

3. *Этап анализа функций системы*. Входной информацией служат дерево целей и модели функционирования типовых звеньев системы. Задача этапа заключается в составлении полного (в смысле заданной концептуальной модели)

списка функций организационной системы. Выходом является совокупность списков функций по реализации каждой из подцелей (дерево функций).

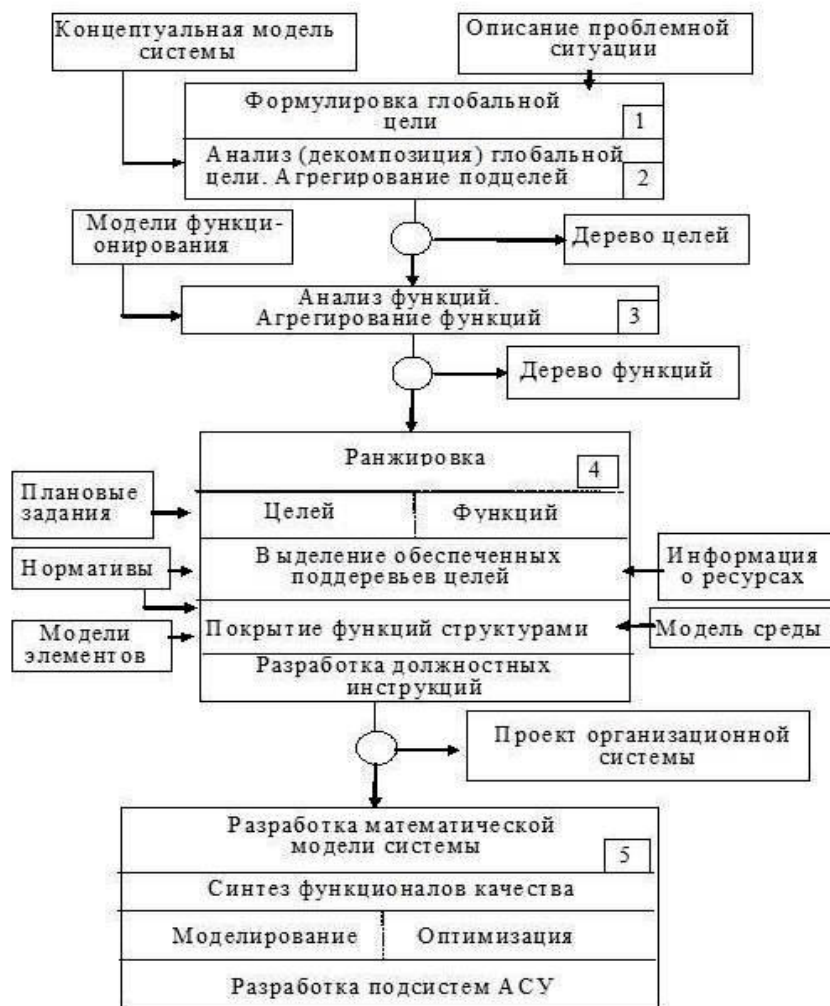


Рис. 4.1. Обобщенный алгоритм проектирования организационной системы

4. Этап проектирования структуры организационной системы. Задача этого этапа состоит в разработке проекта

организационной системы, включающего ее организационную структуру с выделением управляющей и управляемой частей. В него включается также распределение целей и функций по элементам структуры (покрытие функций структурами), разделение всех функций на автоматизированные (выполняемые эргатическими звеньями) и не автоматизируемые (выполняемые антропологическими звеньями), составление перечня подсистем информационных технологий для проектируемой организационной системы и комплекса должностных инструкций. Входной информацией для данного этапа являются:

- выходы первого и второго этапов проектирования;
- информация о ресурсах, которыми может располагать проектируемая организационная система (временные, материальные, информационные);
- нормативы расходов ресурсов
- планируемый объем производства конечных продуктов организационной системой;
- состав элементной базы, на которой должна строиться организационная система, то есть модели типовых элементов структур;
- прогнозная модель среды для выявления новых проблемных ситуаций, стимулирующих развитие системы.

Выходом данного этапа является проект организационной системы, то есть ее содержательная модель.

5. *Этап проектирования подсистем информационных технологий.* Входной информацией для этого этап служит проект организационной системы с заданным перечнем подсистем информационных технологий. Задача этапа заключается в разработке методического, программного, информационного, технического, организационно-правового обеспечения. При этом производится определение критериев качества функционирования организационной системы.

Таким образом, основные этапы описанного алгоритма совпадают в содержательном плане с первыми четырьмя эта-

пами системного анализа, представленными на рис. 2.3. , за тем исключением, что этап проектирования структуры разделен на два этапа за счет вынесения в отдельный этап процедуры проектирования подсистем информационных технологий.

В общем случае на пятом этапе системного анализа предусматривается проверка реализуемости проектируемой системы при взаимодействии ее с внешней средой. В описанном алгоритме пятый этап системного анализа, включающий в себя учет воздействий внешней среды на систему и налагаемых ею (средой) ресурсных, функциональных, информационных и прочих ограничений, реализуется в процессе осуществления четвертого и пятого этапов проектирования. В последующих разделах содержание каждого из перечисленных этапов проектирования организационной системы раскрывается более подробно.

4.3 Концептуальные модели организационных систем

Как было показано в предыдущем разделе проектирование организационной системы начинается с формирования и анализа ее концептуальной модели. Концептуальная модель системы - это модель наиболее общего вида, в которой содержатся все основные компоненты (подсистемы) проектируемой системы с указанием функциональных связей между ними. По характеристикам используемых средств модели можно разделить на следующие классы.

Вербальные модели, формулируемые в терминах обычного языка общения между людьми. При составлении вербальных моделей систем выделяются существенные, с точки зрения экспертов, элементы системы, их параметры и отношения между ними.

Математические модели, формулируемые на языке математической логики, на теоретико-множественном уровне, с использованием теории вероятностей и стохастических па-

раметров, теории матриц, теории графов и иных математических методов исследования операций. Процесс построения адекватной математической модели есть по существу итеративный процесс последовательного уточнения вербальной модели и процесс её формализации.

Графические модели, отображающие с помощью графических средств (схемы, чертежи, диаграммы, гistogramмы, блок - схемы) пространственно - временные отношения между элементами системы, их функциональную взаимосвязь и иные отношения, поддающиеся графическому отображению. Как правило, графические модели разрабатываются как дополнение к вербальным и математическим моделям с целью придания последним наибольшей наглядности и компактности изложения.

При разработке концептуальной модели исходят из той предпосылки, что любая система, в том числе организационная система, поддается моделированию относительно определенных аспектов её поведения или некоторого подмножества свойств. Если P - множество свойств моделируемой системы, а P' - некоторое подмножество такое, что $P' \supset P$, то справедливо утверждение

$$\left(\forall (m)^S P \right) \left(\exists (m') Q' \right) \left(\exists R(m') \right) \left[(m') Q' \& R(m') \Rightarrow (\exists P') (P' \supset P) \right].$$

Таким образом, возможность моделирования всегда принципиально существует и вопрос заключается только в полноте и существенности подмножества свойств P' , отображаемых разработанной моделью.

Таким образом, для одной и той же реальной системы существует множество адекватных ей моделей, построенных с различными целями. При построении модели в ней должны отражаться только те элементы и отношения, которые существенны с точки зрения *цели построения модели*. А эта цель только в частном случае может совпадать с *целью системы*.

Что касается характера отображаемых в модели отношений между основными элементами моделируемой системы, то в общем случае концептуальная модель может быть представлена в одном из пяти основных видов, приведенных на рис. 4.2. Каждый из классов моделей, представленных на

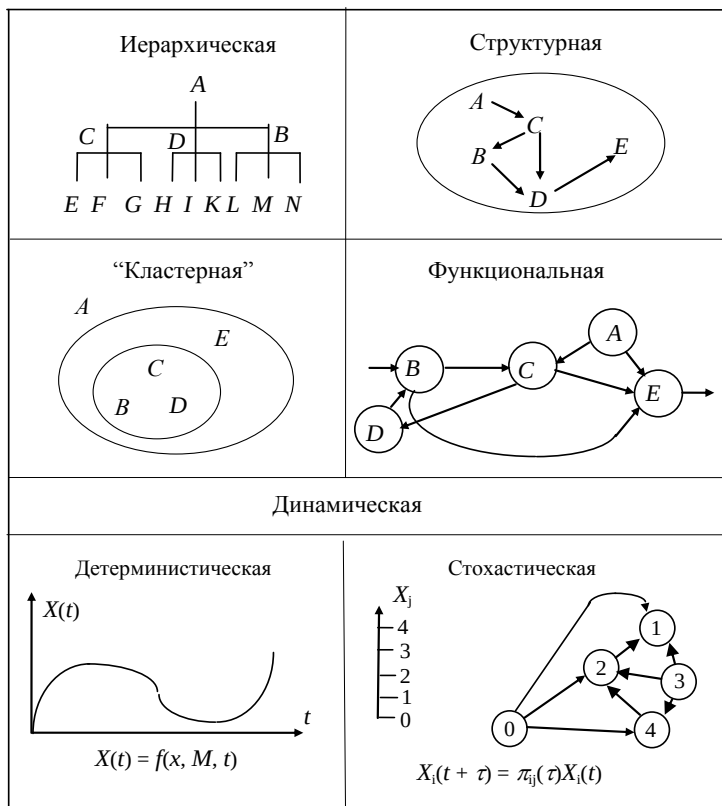


Рис. 4.2. Классы концептуальных моделей для описания организационных систем

рис. 4.2 раскрывает определенную совокупность свойств моделируемой системы. Иерархическая модель четко раскрывает соотношения подчиненности, принадлежности (элементы **F** и **G** принадлежат классу **C**), значимости (элементы **K** и **L** менее значимы, чем элемент **D**).

Структурная модель показывает функциональные взаимосвязи между элементами. В этой модели дуги не просто соединяют взаимодействующие элементы, но и могут указывать на количественные параметры взаимоотношений между ними (например, коэффициенты передачи, расстояния между элементами и т. п.).

Кластерная модель используется при моделировании сложных систем. Она позволяет выделить “кластер” анализируемых элементов **B**, **C** и **D** с указанием того, что все они принадлежат к более общей системе класса **E**, а последняя, в свою очередь, принадлежит к метасистеме **A**, не раскрывая при этом характера функциональных взаимоотношений между классами различных уровней общности. Это бывает удобным, когда характер этих взаимоотношений не поддается ни вербальному, ни, тем более, аналитическому описанию.

В определенной мере кластерная модель содержит информацию, присущую иерархической и структурной моделям. Так, из кластерной модели на рис. 4.2. видно, что элементы **B**, **C** и **D** взаимодействуют на одном уровне и характер этого взаимодействия может быть раскрыт структурной моделью, В тоже время, эти элементы по отношению к элементу **E** находятся на более низком иерархическом уровне, что может быть отражено в иерархической модели. Аналитическое использование кластерной модели позволяет выявить новые свойства структуры, предполагая существование подсистем и уровней иерархии.

Динамическая модель описывает поведение системы во времени. В зависимости от характера описываемых процессов это описание может быть детерминистическим, то есть показывающим каков будет выход системы $X(t)$ если вход системы поступает сигнал $M(t)$. Зачастую в сложных системах такое детерминистическое описание оказывается неприменимым в силу того, что параметры системы носят стохастический характер, и тогда используется стохастическая модель.

Стохастическая модель удобна для описания систем, динамическое поведение которых может быть описано Марковскими процессами. Она позволяет предсказать состояния, в которые объект может перейти в будущем. Эти предсказания могут быть осуществлены, если задана вероятностная матрица переходов $\pi_j(\tau)$. Форма этой модели зависит от того, каким образом выделены эти состояния и каков принят временной интервал наблюдения.

При разработке моделей любого класса к ним как к средствам повышения эффективности управления оргсистемами должны предъявляться следующие требования.

Целенаправленность. Каждая модель должна разрабатываться под определенную цель, то есть под определенный аспект анализа или совершенствования исследуемой системы.

Комплексность. Модель должна разрабатываться с учетом совместного рассмотрения политического, экономического, социального и технологического аспектов управления.

Взаимосвязанность. Достигается за счет системного единства математического, информационного, организационного обеспечения системы.

Оптимальность. Разрабатываемая модель должна быть ориентирована на выбор наиболее эффективных решений в соответствии с выбранным критерием оптимальности. При необходимости модель должна содержать процедуру поддержания различных целевых функций.

Адекватность. Характеристики модели должны быть близки, в определенном смысле, характеристикам объекта. В качестве критериев близости могут использоваться средне-квадратическая погрешность, абсолютная погрешность, максимум правдоподобия и другие оценки.

Контролируемость. В процессе использования моделей должна быть обеспечена измеримость критерия адекватности модели реальному объекту.

Адаптивность. Модель должна обладать возможностью приспособления к изменениям объекта, внешней среды и персональных характеристик лица, принимающего решения.

Простота. Использование модели на практике не должно вызывать технологических затруднений у пользователя. Представление исходных данных и результатов моделирования должно осуществляться в наглядном и удобном для использования виде.

Реализуемость. Суммарные затраты материальных и финансовых средств, а также временных ресурсов на разработку и использование модели не должны превышать допустимых пределов.

Эффективность. Мерой эффективности используемых в модели методов могут быть скорость сходимости (для итеративных процессов), общее время поиска решения, а также другие ограничения.

Кроме того, в модели большой размерности должна предусматриваться возможность её декомпозиции на совокупность частных моделей меньшей размерности. Далее, поскольку для организационных систем большее значение имеют различные неформальные критерии адекватности, связанные с социологическими, психологическими и другими аспектами управления, то в моделях должна предусматриваться возможность включения экспертов в качестве элементов самой модели.

При выборе варианта концептуальной модели следует иметь в виду, что каждый из пяти представленных на рис. 4.2. классов наиболее эффективен при описании определенного набора свойств и выбор определенного класса модели зависит от того, какие из всей совокупности свойств системы подлежат более детальному рассмотрению. Так, одним из важнейших аспектов описания любой организации является анализ её иерархической структуры.

4.4 Иерархические структуры организационных систем

Практически все сколь-нибудь крупные организации, независимо от области их профессиональной активности, организованы по иерархическому принципу. Иерархическая структура известна с незапамятных времен. Начиная с библейских времен, структура управления в обществе носила иерархический характер. И если феномен власти известен и в животном мире (вожак стаи, стада), то иерархический характер власти является сугубо человеческим изобретением. Возможно, это обусловлено тем, что только в человеческом обществе власть одного лица (группы лиц) распространяется на столь большое количество особей, что управление ими без использования иерархической структуры становится невозможным.

Иерархической называется организационная структура, имеющая признаки дерева, то есть связного графа без контуров, обладающего следующими свойствами:

- каждая дуга соединяет только два таких узла, которые находятся на соседних уровнях;
- каждый узел является терминальной точкой одной дуги, за исключением единственного узла, находящегося на самом верхнем уровне и являющегося вершиной дерева;
- каждый узел на всех уровнях кроме самого нижнего является исходной точкой для нескольких дуг. Все узлы самого нижнего уровня являются только терминальными точками.

Иерархическая структура, удовлетворяющая всем перечисленным требованиям, называется идеальной. Пример идеальной иерархической структуры представлен на рис. 4.3.

Идеальную иерархическую структуру характеризуют следующие свойства:

- многоуровневость;

- субординация внутренних связей (все связи осуществляются только по вертикали и только между соседними уровнями);

- субординация внешних связей – выход любого уровня во внешнюю среду контролируется соседним вышележащим уровнем;

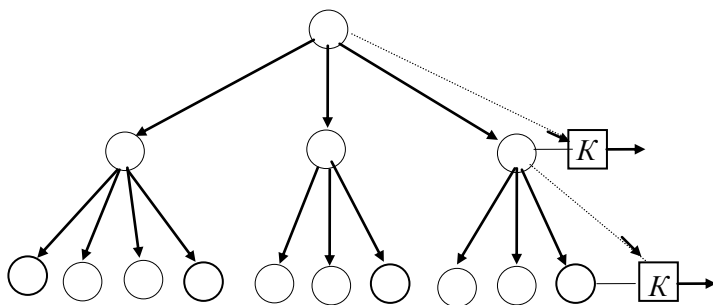


Рис. 4.3. Пример идеальной иерархической структуры

- пирамидальность (на самом верхнем уровне находится только один элемент).

Организационная структура, построенная по иерархическому принципу, обладает следующими несомненными преимуществами:

- высокая жизненность (самоподдерживаемость);
- наивысшая эффективность решения относительно простых “лобовых” задач;
- простота и логичность структуры - она легко поддается анализу и совершенствованию.

Более подробное рассмотрение перечисленных свойств начнем с последнего, то есть уточним, в чем именно заключается простота анализа и совершенствования. Дело в том, что в том случае, если анализируемая организационная структура имеет отклонения от идеальной иерархии, то эти отклонения, именуемые патологией в иерархии, легко выявляются. Несколько примеров таких патологий в иерархии приводятся ниже

На рис. 4.4. приведен пример *иерархии с синекурой*. Суть этой патологии состоит в том, что какой-то узел, не находящийся на самом нижнем уровне иерархии, является исходной точкой для одной единственной дуги, а уже следующий (по уровню) узел является исходной точкой для нескольких дуг.

В этой ситуации узел 1 и узел 2 дублируют друг друга и один из этих узлов явно лишний. По существу это узел 1, находящийся на более высоком уровне и не несущий, по существу, никакой ответственности по управлению, кроме “контроля” за работой узла 2. Отсюда и название этого вида патологии - “синекура”, Так в древнем Риме называлась должность, не влекущая за собой никаких обязанностей, но приносящая приличный доход.

Из всех остальных видов патологии в иерархии это самая вредная для организации. И не только тем, что занимающий “синекуру” чиновник получает незаслуженную оплату, а, главным образом, тем, при синекуре размывается понятие ответственности. То есть становится совершенно непонятным кто и за что должен отвечать. Впрочем, для узла 1, и являющегося собственно синекурой, как раз все понятно - все положительные результаты достигнуты благодаря его “чуткому руководству”, а за все провалы, конечно же, отвечает лицо, находящееся в позиции узла 2.

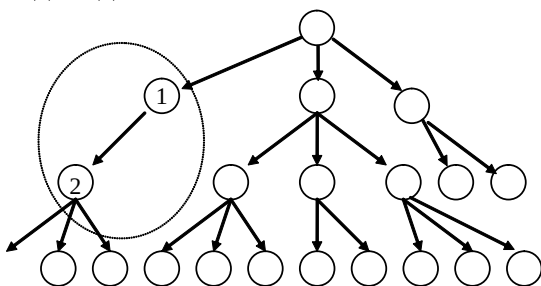


Рис. 4.4. Пример иерархии с синекурой

На рис. 4.5. приведен пример *иерархии с расщеплением*, а на рис. 4.6 - *дислокация в иерархии*. Иерархией с расщеплением называют такую ситуацию, когда у двух узлов - 1 и 2, находящихся на одном из верхних уровней иерархии, в под-

чинении находится один и тот же узел 3, находящийся на соседнем более низком уровне. Нецелесообразность такой структуры очевидна без особых разъяснений.

Неизбежная рассогласованность требований, “спускаемых” из узлов 1 и 2 “на голову” узла 3 гарантирует пониженную его эффективность, а в предельном случае - полную недееспособность.

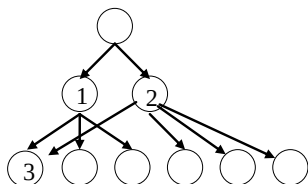


Рис. 4.5. Иерархия с рашеплением

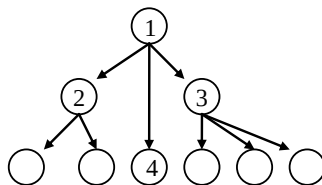


Рис. 4.6. Дислокация в иерархии

Патология, пример которой показан на рис. 4.6. (дислокация в иерархии или нарушение субординации внутренних связей), состоящая в том, что узел 4 выходит непосредственно на узел 1, минуя узлы 2 и 3, находящиеся на соседнем уровне, в общем случае менее “вредоносна” для организации. Более того, в ряде случаев дислокация в иерархии оправдана. Это бывает в тех случаях, когда подразделение или группа, или просто индивид выполняют такие функции, которые по своей значимости должны выходить на верхние уровни иерархии. Однако масштаб этого подразделения или иные причины таковы, что по формальным признакам его место в иерархии отстоит на несколько уровней от обслуживаемого узла.

Например, в армейских структурах рота разведки не входит в состав какого-либо батальона, а подчиняется непосредственно штабу дивизии. В медицинском учреждении лаборатория, обслуживающая несколько отделений не входит в состав одного из них, а подчиняется непосредственно руководителю учреждения. Такие примеры могут быть продолжены.

В то же время наличие дислокации в иерархии не всегда оправдано и безобидно. В больших организациях с развитой иерархической структурой такие узлы с дислокацией, как узел 4 на рис. 4.6., зачастую представляют собой “теплые” местечки для разного рода фаворитов и ”любимчиков”. Бывает, что по каким-либо причинам некий фаворит не может быть назначен на достаточно высокий уровень в иерархии (отсутствие вакантных должностей или явное несоответствие его персональных качеств с высокой должностью). И тогда “покровитель” вынужден держать его на достаточно низком уровне по должности. Однако, подчинив фаворита непосредственно себе, покровитель может избавить последнего от “недостаточно нежного” обращения непосредственного начальника и от “излишних перегрузок”, связанных с выполнением нормальных служебных обязанностей в полном объеме.

Такая патология, когда на вершине иерархической структуры находится не один элемент, называется *незавершенностью в иерархии*. Патология такого рода требует более подробного рассмотрения. Понятно, что предельная завершенность, состоящая в том, что на самом верхнем уровне иерархии находится одно лицо, воспринимается как некое противоречие с принципами демократии.

Действительно, если в государстве лицо, находящееся на самом высшем уровне, имеет неограниченную власть (король, император, самодержец, фюрер, генеральный секретарь, короче - любой диктатор), о демократии тут говорить не приходится. А в завершенной иерархии верхний уровень всегда имеет неограниченную власть, поскольку в иерархической структуре властные функции идут только сверху вниз. Обратная связь на верхний уровень не замыкается, и контроля над высшим уровнем никакого “сверху” нет.

Любое, пусть поспешно и необдуманное решение, встречается ближайшим окружением с большим одобрением и восторгом. В этих условиях, совершенно естественно, лю-

бая личность начинает ощущать себя мудрой и всезнающей. (Достаточно вспомнить Сталина, который «учил» профессоров лингвистов русскому языку). И каким бы демократом изначально ни был индивид, но попав на высший уровень руководства, он рано или поздно становится натуральным самодержцем.

Да и в организации меньших масштабов, нежели государство неограниченное единоначалие обычно вызывает желание как-то его ограничить, “демократизировать” путем введения принципов коллегиальности. Такое стремление к введению коллегиальности на высшем уровне управления известно еще из истории древнего Рима где, как известно, делались попытки сосредоточения власти на высшем уровне в руках нескольких консулов. Подобные же попытки делались и во Франции после свержения монархии и учреждения Республики. И все эти попытки везде и всегда кончались одинаково. Вначале из нескольких “равноправных” консулов выделялся “первый” (во Франции таким “первым” консулом одно время был Наполеон Бонапарт). А затем, после определенного периода времени, этот “первый” устанавливал единоличную диктатуру и становился императором (Наполеон Бонапарт во Франции), дуче (Муссолини в Италии), фюрером (Гитлер в Германии), великим вождем (Сталин в нашей стране).

Когда в нашей стране после Октябрьской революции началось формирование Красной армии, то все профессиональные военные служили в прошлом в царской армии, то есть были “белыми” офицерами и, стало быть, не могли рассчитывать на доверие большевистского руководства. В то же время это руководство понимало, что без профессиональных офицеров боеспособную армию не создать. В качестве выхода из этой ситуации был “изобретен” институт “красных комиссаров”. Рядом с каждым воинским начальником был назначен комиссар, облеченный особым доверием партии. И хотя этот комиссар в подавляющем случае ничего в военном

деле не понимал, однако обладал практически неограниченными полномочиями. Не говоря уже о том, что комиссар в любой момент мог отстранить командира и взять всю полноту власти в свои руки, он мог и попросту расстрелять командира без суда и следствия как “врага народа”. И не нес за это никакой ответственности, обосновывая свое решение “революционной необходимостью”. Понятно, что эффективность такого командования была резко заниженной и партийное руководство страны, в конце концов, было вынуждено отказаться от “института комиссаров” и ввести в армии единоначалие.

Таким образом, весь многовековой опыт управления в организации свидетельствует о том, что незавершенность в иерархии особой пользы организации не приносит. И именно в завершенной иерархии, свободной от рассмотренных выше патологий, раскрываются во всей полноте указанные ранее преимущества идеальной иерархической структуры. Одной из самых известных и наиболее “идеальных” иерархических структур были римские легионы. Идеальной иерархической структурой обладали полчища Чингисхана. Воины объединялись в десятки, которыми командовал десятник. Десять десятков образовывали сотню, во главе которой стоял сотник. Десять сотен образовывали тысячу, подчиняющуюся тысяцкому, а десять тысяч - “тьму”, командовал которой темник и т. д.

При решении относительно простых задач (налететь, разгромить, разграбить) эта сила была несокрушима. Жесткая дисциплина (за малейшее неповиновение - мучительная смерть: нарушителю просто переламывали хребет, и с тех жестоких времен и сохранилось выражение “сломать хребет”, означающее подавить сопротивление) обеспечивала беспрекословное выполнение приказов. Четкая организационная структура не оставляла места сомнениям о границах полномочий всех и каждого, обеспечивала невиданную по тем временам (да и по ныне) эффективность доведения ре-

шений сверху донизу. Что могли противопоставить этой несокрушимой иерархической структуре десятки, сотни (пускай бы тысячи) дружин, связанных лишь символически общей идеей, возглавляемых князьями, не признающими ничьей власти и принципиально не приемлющими никакой дисциплины?

Если проанализировать историю Великой отечественной войны, то победа в ней без действовавшей тогда четкой всеохватывающей иерархической структуры и жесткой (а можно сказать, и жестокой) дисциплины была бы недостижима.

Однако в соответствии с всеобщими законами диалектики (всякие недостатки системы это есть прямое продолжение ее достоинств, выходящих за рамки разумного) именно те свойства иерархических структур, которые обеспечивают их высокую эффективность в решении определенных задач и обрекают эти структуры на вырождение.

Исторический опыт показывает, что могучие развитые иерархические структуры живут и развиваются только в условиях интенсивной динамики - постоянно находясь “на марше”. Победоносные легионы Рима, несметные полчища Чингисхана были несокрушимы, пока завоевывали и грабили все новые и новые территории, пока сохранялась “великая цель”. Гитлер, создав фашистскую империю, в короткие исторические сроки из побежденной, нищей униженной страны создал могучую военную державу. В нашей стране, в условиях коммунистической империи, достигались чудеса эффективности. Полураздетые, голодные, нищие люди в фантастически короткие сроки строили новые города (Комсомольск - на - Амуре), металлургические и промышленные гиганты (Магнитка, Сталинградский тракторный и др.) и все это приводило к поразительным результатам, пока страна была “на марше”.

Но вот проходит десять лет, двадцать, тридцать, а коммунизм все не построен, (хотя Н. С. Хрущев обещал, что это

будет сделано в восьмидесятих годах прошлого столетия). Итак, “марш” пора бы и заканчивать и переходить к иным, более спокойным стандартам жизни. То есть, попросту говоря, пора начать и просто жить, а не только “строить новую жизнь”. И вот в этих условиях перехода к нормальной спокойной “не маршевой” жизни все сильнее стали проявляться недостатки жесткой иерархической структуры. В огромной мере продлению жизни такой структуры способствовала Великая Отечественная война. Во время войны страна, естественным образом, находилась “на марше” и сохранение жесткой иерархической структуры руководства страной было жизненно необходимым.

Затем восстановление страны из разрухи, залечивание ран, нанесенных войной, и опять страна на марше, и вновь иерархия жива и в значительной мере полезна. Но вот уже и война далеко позади и, по существу, забыта (в экономическом аспекте). И тогда, в условиях спокойной “не маршевой” жизни все недостатки чудовищно разросшейся иерархической структуры расцвели махровым цветом, что и привело, в конце концов, страну к тому периоду, который принято называть годами застоя, а затем - к последующей перестройке.

Основными недостатками жесткой иерархической структуры являются:

- громоздкость структуры, приводящая к резкому снижению эффективности при решении комплексных задач (связи осуществляются только по вертикали и должны замыкаться через много этажей - даже несущественные);

- крайне неэффективное использование самого ценного достояния любого общества - творческого потенциала его членов;

- сильная склонность структуры к “загниванию” и вырождению вследствие принятой в иерархии системы продвижения по уровням иерархической карьеры.

Ниже эти недостатки рассматриваются более подробно.

Громоздкость структуры является имманентным свойством иерархии вообще, поскольку в идеальной иерархии горизонтальные связи должны отсутствовать. И известные строки В. Маяковского - "... Я гайки делаю, а ты - для гаек делаешь болты!" не так просто было реализовать на практике. Например, какой-нибудь местный завод, "делающий гайки", принадлежал министерству легкого машиностроения. А рядом расположенный завод, "делающий болты", принадлежал министерству среднего (тяжелого, общего или какого-нибудь еще, но, увы, *иного*) машиностроения. Тогда достичь согласования указанных "болтов" и "гаек" можно было только после затяжных и запутанных согласований. Для этого надо было пройти по всем "этажам" обоих министерств, да прихватив еще и массу тупиков в Госплане и других "важных" инстанциях.

Крайне неэффективное использование творческого потенциала на нижних уровнях иерархии обусловлено жесткой дисциплиной, ориентирующей личность исключительно на выполнение указаний сверху без какой бы-то ни было "отсебятины". Инициатива "на местах" в иерархической системе не только не поощряется, но и бывает наказуема, особенно, если предлагаемая новация связана с риском неуспеха, который, естественно, всегда сопутствует новым идеям. Убедительным примером подавления способности к самостоятельным решениям может служить эпизод, описанный в книге известного авиационного конструктора А. Яковлева "Цель жизни". Суть его в следующем.

В довоенные годы был период, когда самолеты зимой производили разбег по аэродрому на лыжах. А затем так с этими лыжами и летали, что, естественно, приводило к значительному снижению скорости. Затем во всем мире стали использовать убирающиеся шасси и от лыж отказались. А в нашей стране продолжали летать на лыжах, главным образом потому, что никто не мог принять такое "кардинальное" решение, как ...чистить аэродромы от снега! Наконец, доложи-

ли Сталину. И “великий вождь, и отец всех народов” со всей присущей ему мудростью и решительностью подумав, сказал: - “Снег надо убирать!”. Подобных эпизодов можно приводить тысячи и тысячи. Но совершенно очевидно, что если уж такое “грандиозное” решение требовалось проводить через высший уровень иерархии, то эффективность проведения в жизнь действительно масштабных решений, а тем более перемен в иерархической структуре крайне низка. Следующий недостаток - сильная склонность иерархической структуры к загниванию и вырождению - обусловлена принятой в ней системе распределения жизненных благ и механизмом продвижения по ступеням иерархии.

Как правило, всяческие жизненные блага распределяются в иерархической структуре в строгом соответствии с занимаемой позицией в иерархии. Здесь нет возможности развития “по горизонтали” заложенного в личности потенциала. Талантливый и даже гениальный исследователь, оставаясь в служебной позиции “рядового” исследователя и по получаемым жизненным благам и, самое главное, по предоставляемым ему условиям для научного и технического творчества ничем не будет отличаться от самого заурядного “серенького” исполнителя. Большие возможности дает только более высокая ступенька в иерархии. И это обстоятельство вынуждает участников всеми правдами и неправдами “карабкаться наверх”, стремясь достичь возможно более высоких позиций в иерархии.

Но в иерархической структуре продвижение вверх регулируется только отбором сверху. А при отборе сверху претендентов на продвижение одним из наиболее ценимых в претенденте качеств является личная преданность вышестоящему начальству. Правда называться эта преданность может по-иному. Например, “преданность партии, преданность делу Ленина - Сталина, преданность нации и Фюреру и т. п. Но любой начальник, до той поры пока он остается таковым, себя-то считает несомненно преданным “Делу”, так, что с

полным основанием факт преданности подчиненного лично ему он считает основным критерием преданности Делу.

Далее действует механизм, концептуальная модель которого иллюстрируется на рис. 4.7. На рис. 4.7. по оси ординат отложен некий обобщенный показатель набора качеств, необходимых руководителю, а по оси абсцисс - плотность распределения этого показателя среди населения в целом (кривая 5) и среди контингента отобранной “элиты”, то есть лиц, коим доверяются руководящие посты.

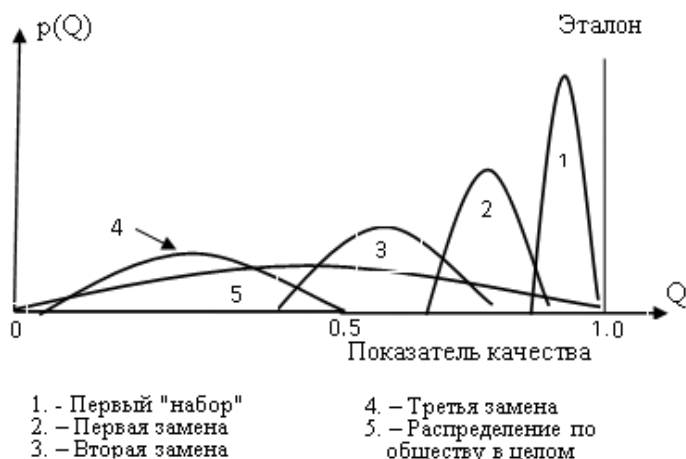


Рис.4.7 Концептуальная модель деградации элиты

Ме

ханизм деградации элиты неумолимо действует следующим образом. Пусть вначале имела место идеальная ситуация и самый первый руководитель был выбран (по обстоятельствам) так, что он обладал наивысшим набором всех качеств и его показатель качеств соответствовал эталону, то есть наиболее достижимому уровню.

Этот первый “эталонный” руководитель начинает подбирать себе заместителей и ближайших помощников, из среды которых и выбирается в последующем лицо, приходящее на смену “первопроходца”. Но как подбирается это ближайшее окружение? Руководитель при отборе кадров принимает

в качестве эталона лично себя и подбирает таких претендентов, которые по своим качествам приближаются к этому эталону, но, естественно, слева по оси качества, а не справа!

В результате такого отбора формируется первый “набор” элиты. Для этого набора плотность распределения по показателю качества сдвинута влево от эталона и заметно расширена (кривая 1 на рис. 4.7.). Этот первый набор, формируя круг своих заместителей и ближайших помощников, из среды которых и выдвинутся в последующем лица, заменяющие первых руководителей, действует также как и эталонный руководитель. То есть принимает в качестве эталона самого себя и выбирает очередного претендента на выдвижение так, чтобы тот приближался по качествам к новому эталону, но опять же слева, а не справа. Выбранный в итоге такого отбора контингент лиц (первая замена) имеет плотность распределения показателя качества сдвинутую еще больше влево и еще более размытую (кривая 2). Затем процесс повторяется с неизменным результатом и через определенное количество циклов показатель качества отобранной элиты становится ниже, чем средний уровень этого качества в обществе в целом (сравните кривую 4 и кривую 5 на рис. 4.7.).

Этот процесс деградации элиты может быть замедлен или ускорен, если вакансии на верхних уровнях иерархии появляются не только в результате естественной убыли (старение, смерть), а еще и в результате проводимой “прополки”, то есть процесса освобождения от тех лиц, которые по различным признакам не удовлетворяют требованиям, предъявляемым системой. Процесс деградации можно затормозить, если каждый раз из отобранного состава элиты убираются индивиды, обладающие наихудшими показателями качества. Но, к сожалению такого почти никогда не бывает. Наоборот, в иерархической системе наибольшей опасности и первоочередной “прополке” подвергаются чаще всего лица талантлив-

вые, выдающиеся, в которых вышестоящие руководители видят своих конкурентов.

При таком методе “прополки”, когда устраняются, в первую очередь, наиболее инициативные талантливые индивиды, процесс деградации элиты резко ускоряется. Таким образом, из вышесказанного видно, что иерархическая структура обладает двумя наборами противоположных качеств - набором положительных качеств, делающих эту структуру весьма эффективной и, по существу незаменимой при формировании организационной структуры в больших организациях, и набором отрицательных качеств, игнорирование которыми ведет к неизбежной деградации и развалу организации.

Некоторые возможные меры сглаживания и определенной нейтрализации отрицательных свойств иерархической структуры будут рассмотрены в главе, посвященной моделям и методам управления в организациях, а в настоящей главе ниже будет рассмотрена такая процедура формирования дерева целей и дерева функций, следование которой поможет повысить эффективность формируемой иерархической структуры.

4.5 Формирование дерева целей организации

Как показано в предыдущем разделе, в процессе реализации алгоритма проектирования организационной системы выбор иерархической структуры в качестве концептуальной модели неизбежен. Поэтому на этапе формирования дерева целей и дерева функций актуальной становится задача создания такого набора целей и функций, который, будучи наложен на проектируемую иерархическую структуру, мог бы обеспечить предельную ясность, конструктивность и системную взаимосвязанность целей, задаваемых на разных уровнях иерархии. При этом необходимо иметь возможность использования набора достаточно четких критериев достижения этих целей. В этих условиях можно рассчитывать на то,

что четко заданные конструктивные цели помогут повысить эффективность работы отдельных звеньев иерархии, а четкие критерии качества облегчат проблему контроля их работы.

Построение дерева целей, последовательно превращающего глобальную цель системы в иерархию подцелей и функций управления, является важнейшим звеном системного подхода к структуризации проблем управления организационной системой. В соответствии с методологией системного анализа сложная цель может быть выражена через совокупность более простых целей методом декомпозиции. При этом должны соблюдаться следующие основные принципы, следование которым обеспечит построение конечной идеально-иерархической, минимально-избыточной, исчерпывающей и, в то же время, простой модели:

- принцип полноты (достижение совокупности возникающих при декомпозиции подцелей должно быть достаточным условием для реализации декомпозируемой цели);
- принцип суперпозиции подцелей (необходимо стремиться, чтобы при декомпозиции подцели одного уровня были относительно независимы, тогда цель будет аддитивной функцией подцелей);
- принцип конечности декомпозиции (результатом декомпозиции должно быть конечное дерево, то есть алгоритм декомпозиции должен заканчиваться за конечное число шагов).

Исходя из этих принципов процедура построения дерева целей организационной системы, формальная структура которого представлена на рис 4.8., осуществляется в следующей последовательности.

Уровень 1. На этом уровне формируется глобальная цель. Эта цель для высшего уровня иерархической структуры должна в наиболее общей, качественной и удобной для декомпозиции форме должна описывать конечный продукт,

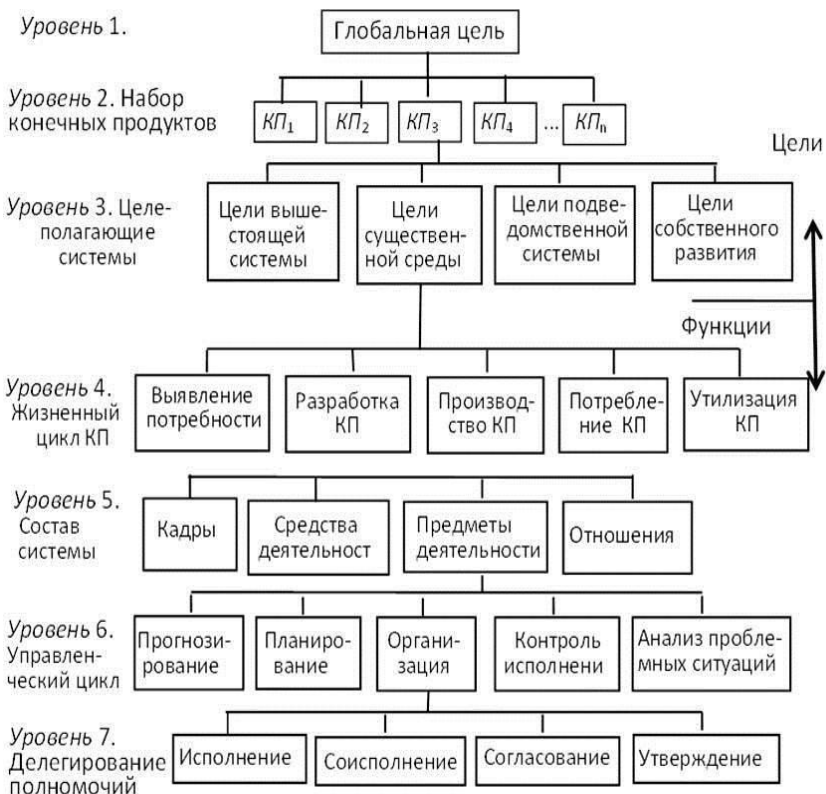


Рис. 4.8. Формальная структура дерева целей и функций организации

для получения которого существует или создается заново исследуемая система. Поэтому, после формулировки глобальной цели в наиболее общей (“лозунговой”) форме, глобальная цель должна быть задана в виде набора конечных продуктов, выпускаемых системой. В общем случае, конечными продуктами системы могут быть *материальная продукция, энергия, информация, услуги.*

Конечный продукт аппарата управления организационной системы - *решения*, обеспечивающие высокую эффективность деятельности подведомственной системы по производству конечного продукта. Подчеркнем, что глобальная цель формулируется в виде задания желаемых свойств конечных продуктов организационной системы, и в этом виде она носит статический характер: при анализе цели требуется лишь ответить на вопрос, какие действия необходимо осуществлять для ее достижения (безотносительно к способам и последовательности их реализации).

Поэтому для декомпозиции целевых назначений организационной системы должны выбираться статические модели ее элементов. Конкретизацией статических моделей являются классификаторы соответствующих уровней дерева целей.

Уровень 2. Введение этого уровня необходимо для систем, производящих разнообразную продукцию. Глобальная цель декомпозируется в соответствии с основными разновидностями конечного продукта. Для определения основания декомпозиции на этом уровне необходимо построить классификатор системных средств, обеспечивающих выпуск конечных продуктов. Первый уровень этого классификатора должен определять: предметы деятельности, средства деятельности, субъекты деятельности (кадры), оргструктуры (отношения).

Уровень 3. На этом уровне формулируются подцели организационной системы, которые иницируются потребностями основных систем, предъявляющих требования к исследуемой системе в связи с производством ее конечных продуктов: вышестоящей системы, подведомственной системы, существенной среды, а также учитываются подцели собственного развития. На этом уровне этап формирования дерева целей заканчивается. Как видно из рис. 4.8., последующие уровни декомпозиции используются для получения дерева функции.

При рассмотрении рис. 4.8. следует иметь в виду, что для упрощения структурной схемы каждый уровень декомпозиции на ней показан только для одного из элементов предыдущего уровня. Например, декомпозиция на уровне 3 показана только для элемента $KП_3$. На самом деле такая же декомпозиция осуществляется для каждого из $KП$, представленного на уровне 2. Точно так же на уровне 4 декомпозиция осуществляется не только по элементу “цели существенной среды”, но и по всем остальным элементам этого уровня.

Для анализа функций необходимы модели функционирования элементов системы. При этом используется последовательность “вложенных” друг в друга моделей, отражающих функционирование системы все более детально, вплоть до функционирования простейшего (то есть последнего учитываемого при анализе) элемента системы. Поскольку такими “простейшими” активными элементами в организационной системе являются люди, то проблеме моделирования личности, как активного элемента оргсистемы будет целиком посвящена следующая глава. В целом, методика построения дерева функций сводится к декомпозиции целей нижнего уровня дерева целей по основаниям, соответствующим моделям функционирования.

Уровень 4. Основанием декомпозиции по выходам исследуемой системы управления является наиболее общая модель (стадии жизненного цикла) производства любого конечного продукта, включающая в себя временную последовательность функций, рассмотренных в главе 3 (см. Рис. 3.1.):

- выявление потребности в конечном продукте;
- разработка (объединяет стадии формирования программ, планирования и разработки, представленные на рис. 3.2.);
- производство $KП$;
- потребление (сбыт и эксплуатация);
- утилизация.

По каждой из указанных стадий жизненного цикла аппарат управления организационной системы должен обеспечить принятие соответствующих решений. При этом следует подчеркнуть, что организация потребления конечного продукта зачастую не менее сложна и ответственна, чем организация его производства. Не менее важной является надлежащая организация утилизации конечного продукта, Например, для атомной промышленности утилизация радиоактивных отходов является важнейшей задачей, для решения которой создана целая подотрасль (разработка, строительство и эксплуатация могильников, организация безопасных перевозок радиоактивных отходов, организация надежных мер по радиационной защите и т. п.).

Необходимо также отметить, что на всех стадиях жизненного цикла подразумевается не только удовлетворение потребностей по выпуску новой продукции, но и своевременное прекращение выпуска устаревшей. (Не только, например, открытие новой специальности в вузе или нового научного учреждения, но и закрытие, отмена того, что уже не соответствует потребностям общества).

Уровень 5. На этом уровне осуществляется декомпозиция функций, выявленных на четвертом уровне дерева целей, по составу элементов системы. При этом учитывается, что макроструктура любой действующей социально-экономической системы включает в себя: *субъект труда, предмет труда, средства труда, отношения между элементами* (кто делает? что делает? какими средствами делает? каковы отношения между элементами?).

Так, например, для аппарата управления любой оргсистемы

- *предмет деятельности* - информация, необходимая для принятия решений;

- *средства деятельности* - средства коммуникации, оргтехника, вычислительная техника, методы и алгоритмы

обработки информации и формирования управленческих решений;

- *отношения* - структура аппарата управления, нормы и методы согласования и утверждения принимаемых решений, правила взаимодействия элементов системы в процессе подготовки и принятия решений.

Уровень 6. На шестом уровне декомпозиция функций производится на основе модели управленческого цикла, в составе которого применительно к любой организационной системе можно выделить следующие основные этапы: *прогнозирование, планирование, организация, контроль, анализ проблемных ситуаций.*

Уровень 7. На этом завершающем уровне декомпозиция функций производится на основе принципов делегирования полномочий. Основными видами делегирования полномочий в процессе принятия решений являются: *исполнение, соисполнение, согласование, утверждение.*

Следует обратить внимание, что, несмотря на внешнюю “бюрократичность” указанных видов делегирования, каждый из них в определенных случаях оказывается принципиально необходимым. Так процедура указания на “соисполнение” принципиально необходима в тех случаях, когда формируется комплексная бригада из специалистов разного профиля. Руководитель бригады отвечает за функцию “исполнение”, а на остальных руководителей различных групп, вошедших в бригаду, возлагается ответственность за “соисполнение”.

Без процедуры “согласование” невозможно обойтись при реализации решения, затрагивающего разнородные виды или стадии производства. Например, проведение массовых профилактических прививок среди работников какого-либо предприятия, безусловно, требует согласования даты и сроков с руководством производственного участка. И, наконец, выделение отдельной процедуры “утверждение” обеспечивает четкое распределение ответственности за каждое принимаемое решение и минимизирует возможность обезлички.

Приведенная методика построения дерева целей включает использование положений и суждений привлекаемых экспертов, что позволяет частично скомпенсировать недостаточную полноту статистических данных. Естественно, что повышение качества и детальности дерева целей достигается как на пути совершенствования самой методики его построения, так и на пути широкого применения в этой процедуре экспертных методов. При этом творческий эвристический этап осуществляется группой экспертов, а специально разработанные методы поддержки управляющих решений, которые мы будем рассматривать в последующих главах книги, упорядочивают их деятельность.

В заключение этого раздела рассмотрим некоторые замечания, которые необходимо иметь в виду при разработке дерева целей. Первое замечание касается различия между понятиями “цель - назначение” и “цель - функция”. При формальном сопоставлении лингвистическая структура формулировки цели как назначения и цели как функции совпадает. Различие выявляется лишь при сопоставлении этих понятий на содержательном уровне. Цель как назначение - это функция, выраженная в наиболее общем виде, имеющая постоянную социальную значимость, независимо от средств, с помощью которых она достигается. Например - “охрана правопорядка”.

Функция - это тоже назначение (подсистемы, элемента), но гораздо более конкретного свойства. Применительно к функции можно составить инструкцию по ее выполнению. Функция, как правило, не имеет автономной социальной значимости (например, функция делопроизводства, бухгалтерского учета и т. п.), а всегда является лишь средством для достижения цели. С разработкой нового средства старая функция зачастую теряет смысл или область ее применения резко сужается (например, в метро с внедрением автоматических турникетов резко сузилась функция входных контролеров).

Однако указанное различие в известной мере условно. Некоторые цели, которые на сегодня имеют высокую социальную значимость, на самом деле являются лишь средствами для достижения целей более высокого порядка. Об этом всегда следует помнить и не преувеличивать значимость отдельных средств, хотя на определенных этапах эти средства могут выступать как цели первостепенной важности. Так, например, в эпоху строительства социализма в нашей стране создание материально-технической базы коммунизма было объявлено как важнейшее средство перехода к коммунизму, а затем постепенно превратилось в самоцель со всеми вытекающими из этого негативными последствиями.

Литература

1. Бескровный И. М. Методологические основы системного подхода и проектирования организационных систем. – М.: МРП СССР, ИПК руководящих работников и специалистов МРП. – 1982. – 148 с.
2. Бескровный И. М. Модельное представление и анализ организационных систем методами теории автоматического управления. Вопросы радиоэлектроники. Сер. (АСУ). 1980, вып. 4 - с. 80-123.
3. Бескровный И. М., Михайлов А. В. Вопросы методологии проектирования и организации управления процессом создания «АСУ-Россия». В сб. Проблемы совершенствования управления народным хозяйством РСФСР. М.: Госплан РСФСР, НИИ АСУ Госплана РСФСР. – 1979. – с. 160-180
4. Ворохобов Л. А., Бескровный И. М., Каверин Н. М., и др. Состав задач пускового комплекса АСУ госпитализацией экстренных больных в Москве. В сб. Проблемы совершенствования управления народным хозяйством РСФСР. М.: Госплан РСФСР, НИИ АСУ Госплана РСФСР. – 1979. – с.52-55.
5. Бескровный И. М., Ворохобов Л. А., Каверин Н. М. Об оценке экономической эффективности внедрения математи-

ческих методов и средств вычислительной техники в практику управления городским здравоохранением. В сб. Проблемы совершенствования управления народным хозяйством РСФСР. М.: Госплан РСФСР, НИИ АСУ Госплана РСФСР. – 1979. – с.55-58.

6. Модин А. А. Разработка модели структур управления. – В сб.: Информация и модели структур управления. – М.: Наука, 1972. С. 31-43.

7. Основы системного подхода и их приложение к разработке территориальных автоматизированных систем управления/ Под ред. Ф. И. Перегудова. – Томск: Изд-во Томск. Ун-та, 1976. – 243 с.

Глава 5 Моделирование личности как активного элемента организационных систем

5.1 Состояние выбора

Основной особенностью поведения организационных систем является их целеустремленность - качество, проявляющееся в том, что в любом окружении ни структура действий системы, ни структура ее функций не могут быть заданы извне однозначно, а определяются, в конечном итоге, *собственным выбором* системы. Именно *выбор решений* составляет содержательный аспект управления в организационной системе. И основным активным элементом, реализующим функцию выбора, является работающий в системе *человек*.

Для того чтобы модель организационной системы реально отображала динамику происходящих в ней процессов, и, в первую очередь, процессов управления, модель дей-

ствующим в системе личностей необходимо представить модельным блоком, достаточно адекватно отображающим поведение ЛПР. Проблема эта не тривиальна. В большинстве работ, посвященных моделированию эргатических систем, специфика личности, как активного элемента системы, практически не учитывается.

Обычно узел, отображающий активный элемент, в блок-схемах следящих систем представляется в виде четырехполюсника, как это показано на рисунке 5.01. Функционирование четырехполюсника однозначно определяется его передаточной функцией $Y=f(X)$. И если на вход

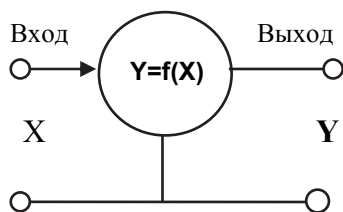


Рис.5.01. Модель активного элемента технической системы

четырёхполюсника поступает сигнал X , имеющий заданные параметры, то на выходе заведомо появляется сигнал Y в соответствии с передаточной функцией узла.

Совсем иная ситуация имеет место, когда в качестве активного элемента в эргатической системе функционирует личность. Основной особенностью поведения личности

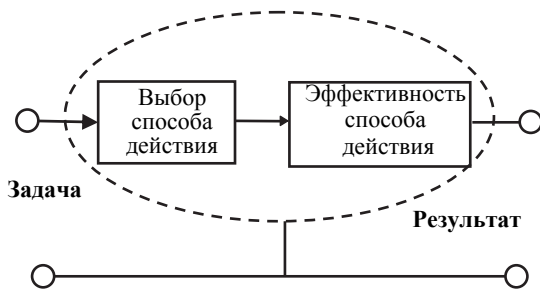


Рис.5.02. Кибернетическая модель личности как активного элемента

является ее целеустремленность - качество, проявляющееся в том, что в любом окружении ни структура действий личности, ни структура ее функций не могут быть заданы извне однозначно, а определяются, в конечном итоге, *собственным*

выбором личности. Именно выбор решений составляет содержательный аспект управления, осуществляемого ЛПР на рабочем месте. С учетом этого четырехполюсник, представленный на рис.5.01, надлежит преобразовать к виду, показанному на рис. 5.02.

Таким образом, моделируя ЛПР как активный элемент следящей эргатической или организационной системы, необходимо, в первую очередь, отобразить его свойства именно в *состоянии выбора*

Выбор - это свободное (не навязанное извне) продуцирование индивидом или системой различных действий, потенциальным продуцентом которых является этот индивид или система в данном окружении.

Состояние выбора характеризуется неизменным наличием следующих четырех компонентов: субъекта, осуществляющего выбор, окружения (обстановки, в которой осуществляется выбор), нескольких (не менее двух) доступных способов действия, нескольких (не менее двух) возможных результатов, достигаемых доступными способами действий и отличающихся друг от друга по своим удельным ценностям для индивида.

В процессе исполнения какой-либо роли в организационной системе индивид не всегда находится в состоянии выбора. В частности, у оператора в человеко-машинных системах, в штатных ситуациях действия строго регламентированы, тогда он практически лишен выбора и действует в строгом соответствии с установленной инструкцией. В этом случае индивид как элемент системы достаточно адекватно может быть представлен в виде обычной респонзивной системы, характеризующейся временем отклика, вероятностью срабатывания и т. п. Конечно, правильное определение всех этих характеристик требует учета того, что носителем измеряемых свойств является не искусственный элемент или система, а человек. Но не более того.

В наборе измеряемых характеристик человеко-машинной системы практически нет “сугубо человеческой” специфики. Поэтому моделирование человека как оператора человеко-машинной системы, действующего в штатной ситуации, осуществляется на той же концептуальной основе, что и моделирование других активных элементов. И только когда ситуация становится нештатной, параметры системы выходят за рамки ограничений, предусмотренных инструкциями, возникают непредусмотренные обстоятельства, тогда оператор как личность переходит в состояние выбора.

Только в состоянии выбора полностью проявляется такая специфическая особенность личности, как целеустремленность, и только в этом состоянии индивид как элемент системы обладает “сугубо человеческими” свойствами, носителем которых не может быть никакой искусственный элемент или система. Однако, несмотря на всю специфичность этих свойств, та их совокупность, которая является существенной с точки зрения индивида как активного элемента системы управления, поддается представлению с помощью математических моделей.

Исчерпывающей характеристикой индивида как активного элемента системы являются его следующие свойства:

вероятность выбора индивидом определенного *способа действий* C_i в заданном окружении S ;

эффективность E_{ij} реализации индивидом *выбранного способа действий*;

удельная ценность V_j определенного результата G_j , для достижения которого был выбран способ действий C_i .

Указанные характеристики задаются следующими функциями:

- *вероятность* P_i выбора индивидом *способа действий* C_i в окружении S есть функция

$$P_i = P\{C_i \mid A \text{ находится в } S\},$$

- *эффективность* E_{ij} реализации выбранного способа действий C_i , определяется как вероятность того, что способ C_i будет продуцировать именно тот результат G_j , который был выбран индивидом как предпочтительный, то есть

$$E_{ij} = P\{G_j \mid A \text{ выберет } C_i, \text{ находясь в } S\}.$$

Определение функции для удельной ценности V_j будет дано позднее.

Для того чтобы на основе введенных понятий дать более строгое определение состояния выбора, необходимо предварительно уточнить различие между *доступным* способом действия субъекта A в окружении S и *потенциальным* способом его действий. *Доступный* способ действий субъекта A в окружении S - это любой способ, выбор которого возможен в пределах физиологических возможностей индивида. *А потенциальный* способ - это такой способ действий, вероятность выбора которого субъектом A в окружении S больше нуля. (Например, воровство как способ добычи благ может в определенных условиях оказаться для индивида доступным способом, но не станет потенциальным способом для человека с достаточно твердыми моральными условиями).

Соответственно определяется доступный результат на временном отрезке $t_1 - t_2$, на котором существует хотя бы один способ действий с эффективностью больше нуля. И потенциальный результата для A в окружении S - это такой доступный результат, для которого отлична от нуля вероятность выбора субъектом A в окружении S какого-то способа действий, имеющего на отрезке $t_1 - t_2$ положительную эффективность по этому результату.

Тогда целеустремленное состояние определяется как состояние субъекта A в ситуации выбора в окружении S при следующих условиях:

- существуют, как минимум, два потенциальных результата G_1 и G_2 , удельные ценности которых не равны ($V_1 \neq V_2$),

и эти результаты являются в окружении S взаимоисключающими;

- для A существует по меньшей мере, два потенциальных способа действий C_1 и C_2 , вероятность выбора которых не равна нулю: $P_1 > 0$; $P_2 > 0$;

- эффективности потенциальных способов действий C_1 и C_2 таковы, что

$$\sum_j E_{1j} V_j \neq \sum_j E_{2j} V_j .$$

Приведенное определение является довольно строгим и резко ограничивает круг состояний субъекта, которые можно относить к целеустремленным. Любопытно, что в классическом примере с буридановым ослом, который находился между двумя свежими охапками сена и умер от голода, не решив, с какой же охапки ему начать, осел, на самом деле, не находился в ситуации выбора. В его ситуации третье условие не выполнялось (удельные ценности обоих результатов: съесть сначала правую или левую охапку - были для него равны, так же, как и эффективности способов действий по этим результатам).

Итак, личность в ситуации выбора характеризуется тремя вероятностными функциями, приведенными в таблице 5.1. Эти функции f , g , и h являются как бы тремя измерениями личности, полностью описывая ее поведение в роли активного элемента организационной системы.

Параметры ситуации выбора	Функции	Аргументы функции		
		Способы действий	Возможные результаты	Окружение
Вероятность выбора	$P_i = f\{$	$[C]_i$	$[G]_i$	$[S_k]\}$
Эффективность выбора	$E_{ij} = g\{$	$[C]_i$	$[G]_j$	$[S_k]\}$
Удельная ценность	$V_j = h\{$	$[C]_i$	$[G]_j$	$[S_k]\}$

Табл. 5.1. Вероятностные характеристики личности

Поведение - совокупность предпочтительных способов действий индивида в сходных окружениях.

Важно отметить, что каждая из трех вероятностей, указанных в табл. 5.1. является функцией всех трех аргументов и, таким образом, все вероятности являются взаимозависимыми. Но эта зависимость сугубо специфична для каждого индивида. Если бы вероятности достижения результатов $P\{G_j\}$ не зависели от субъекта, то между различными субъектами не было бы никакой функциональной разницы. Но различие в индивидуальностях, продуцирует различие в результатах. Так, например, в мире миллионы людей могут играть в шахматы, но уверенно выигрывать у А. Карпова мог только один - Г. Каспаров. Только он в заданном окружении (игра с А. Карповым) мог выбирать такие способы действий (очередные ходы), которые приносили ему желаемый результат - победу.

В общем случае величина $P\{G_j\}$ определяется выражением

$$P\{G_j\} = \sum_i P_i E_{ij},$$

то есть, она равна сумме произведений вероятностей выбора каждого способа действий на вероятности того, что, будучи выбранным, этот способ продуцирует результат G_j . Но вероятности выбора способов действий и эффективности этих способов являются функциями одних и тех же аргументов S_k , G_j , C_i , поэтому

$$P\{G_j\} = f\{ [C_i], [G_j], [S_k] \}.$$

Таким образом, роль индивида в ситуации выбора состоит в преобразовании свойств ситуации выбора в вероятность выбора способов действий и эффективность этих способов. Характер этого преобразования зависит от удельной ценности (для самого индивида) получаемых результатов.

Сами по себе эти величины являются не объективными, а субъективными в том смысле, что объективная оценка каждой из величин подвергается трансформации в сознании субъекта, принимающего решение. И результат этой трансформации существенно влияет на *шансы* субъекта добиться успешной реализации.

Шансы - это персонифицированная вероятность, модифицированная с учетом персональных личностных характеристик субъекта и конкретного состояния окружающей среды.

На рис. 5.1. представлена концептуальная модель формирования шансов индивида на получение желаемого результата.



Рис. 5.1. Модель формирования шансов на достижение цели

На первом этапе осуществляется сбор объективной информации об окружении S_k и возможных способах C_i , доступных в данном окружении. Затем производится априорная оценка вероятности реализации по отношению к совокупности других индивидов. Эта вероятностная оценка характеризует удельную долю индивидов из произвольно большой выборки, которые добились бы положительного исхода в подобной ситуации. На основе этой оценки формируется убежденность индивида в доступности или недоступности положительного исхода лично для него. Сформированная таким образом убежденность является важным фактором, существенно влияющим на эффективность выбранного способа действий и, в конечном итоге, на его персональные шансы достижения успешной реализации.

Если субъект приходит к убежденности в доступности желаемого результата при выбранном способе действий, то шансы на благоприятный исход для него становятся существенно выше, чем для субъекта с аналогичными данными, выбравшего по тем или иным мотивам тот же способ действий, но не убежденного в доступности желаемого результата. Если уже субъект придет к убеждению о недостижимости какого-либо результата, то этот результат действительно окажется для индивида недоступным, хотя бы по той причине, что субъект откажется от выбора способа действий, направленного на достижение данного результата.

Важно помнить, что сама априорная оценка достижимости зависит от удельной ценности результата. Прекрасный пример этому приведен в романе Джеймса Х. Чейза “Снайпер”. К владельцу стрелковой школы - великолепному снайперу - приводят богатого сынка и просят научить того за одну неделю стрелять так же метко, как и сам снайпер. Посмотрев на внешние данные потенциального ученика и проведя предварительное испытание, снайпер приходит к выводу о недостижимости положительного результата. Когда ему назначают плату в десять тысячи долларов, у снайпера мелькает мысль, что ожидаемый от него результат не столь уж фантастичен. Лишь бы у ученика было достаточное желание. Но достаточного желания у этого ученика нет. И снайпер вновь отказывается. Тогда ему назначают плату в пятьдесят тысяч долларов и снайпер, произведя переоценку априорной вероятности, в конце концов, соглашается.

То же самое относится и к удельной ценности ожидаемого результата. Для данного субъекта ожидаемая удельная ценность любого результата EV прямо пропорциональна шансам на его достижение:

$$EV = \sum_i \sum_j P_i E_{ij} V_j$$

и при нулевых шансах на достижение любой результат, сколь привлекательным он бы ни казался, имеет для индивида, в конце концов, нулевую ценность. Хорошей иллюстрацией этого положения являются размышления крыловской лисицы о винограде за забором: “ ... на вид-то он хорош, да зелен - ягодки нет зрелой, - тотчас оскомину набьешь”.

Сомножители в правой части выражения, определяющего удельную ценность результата, сами являются функциями ситуации выбора, значит

$$V = \pi \{ [C_i] , [G_j] , [S_k] \}.$$

Теперь можно определить математическую модель личности, выступающей в роли активного элемента организационной системы, как математическую функцию π , связывающую ожидаемую удельную ценность в любой ситуации выбора со свойствами возможных способов действий, их возможных результатов и существенными переменными окружения.

Подчеркнем, что это определение относится именно к математической модели *поведения* личности в роли активного элемента оргсистемы, то есть отображает лишь один из аспектов поведения, а не личность в целом. В дальнейшем будем применять термин, принятый в литературе по теории управления - *лицо, принимающее решение (ЛПР)*.

5.2 Системные параметры лица, принимающего решение

С позиций системного анализа, для того, чтобы индивид считался лицом, принимающим решение, должны наличествовать три основных фактора:

- должны иметься *альтернативные* варианты решения;
- индивид должен сделать выбор *самостоятельно*;
- последствия этого выбора (положительные или отрицательные) должны *касаться лично его* самого.

Согласно этому подходу при невыполнении хотя бы одного из перечисленных условий индивид не считается, в строгом смысле лицом, принимающим решение. Так, например, высокопоставленный чиновник (министр, или премьер-министр), подписывающий документ государственной важности, не является лицом, принимающим решение, поскольку последствия реализации этого документа не касаются его *лично*. Но такой подход очень сужает диапазон ситуаций, подлежащих рассмотрению, и правильнее будет считать, что если индивид осуществляет выбор решения, то он *всегда* является именно лицом, принимающим решение. А тот факт, что не всегда последствия принимаемого решения затрагивают интересы ЛПР, проявляется в способе формирования и анализа этого решения. Сам способ формирования и анализа каждого решения базируется на персональных системных параметрах ЛПР.

На основании введенных в предыдущем разделе определений, концептуальную модель ЛПР можно представить так, как это показано на рис. 5.2. Предлагаемая модель представляет ЛПР как исполнительный элемент, трансформирующий поставленную задачу в требуемый результат с вероятностью, зависящей от вероятности выбора подходящего способа действий и эффективности этого способа по отношению к требуемому результату. При этом как вероятность выбора адекватного способа, так и его эффективность определяются такими специфическими свойствами ЛПР, как *привычность, знание, мотивация*.

Эти свойства названы системными потому, что в процессе взаимодействия ЛПР с остальными элементами организационной системы параметры этих свойств поддаются

информационному управлению на основе циркулирующих в системе сообщений.



Рис. 5.2 Системная модель личности

Таким образом, ЛПР в организационной системе является не просто активным элементом, способным преобразовать поступающий сигнал без понижения его уровня и усилить этот сигнал, но и *управляемым*, то есть таким элементом, *передаточная функция* которого в каждый момент времени определяется воздействующими на дополнительные входы управлениями. Эта особенность личности до сих пор практически не учитывалась, а все известные модели организационных систем построены по принципу, который условно можно назвать “одноконтурным”, или, точнее, “одномерным”. То есть при построении общей модели системы замыкается только контуры управления, в которых активные элементы включаются как четырехполюсники со своими функциональными входами и выходами. При этом наличие

управляющих входов (по ориентировке, инструктажу и мотивации) не учитывается.

Между тем, даже из самых общих рассуждений, очевидно, что любая организационная система, помимо функционального контура, в котором все цепи между входом и выходом системы проходят через функциональные интерфейсы активных элементов, должна содержать еще и контуры управления мотивацией, знаниями, и ориентацией каждого ЛПР, участвующего в управлении. На практике, конечно, такие контуры существуют, и именно они определяют в конечном итоге уровень эффективности и жизнестойкости организационной системы. Так, привычность какого-либо образа действий формируется у личности всей совокупностью существующих форм общественного воспитания и взаимодействия в коллективе, знания - действующей системой обучения, инструктажа и т. п., мотивация - принятой системой стимулирования, административного воздействия, в том числе и принуждения и т. д.

Однако отсутствие конструктивного подхода к учету этих контуров управления функционированием активных элементов не позволяет увязать характер и существо управляющих воздействий в этих контурах с функциональными целями и назначением организационной системы и, хотя бы приблизительно, прогнозировать последствия этих управлений. Так, что проблема разработки методологии проектирования организационных систем на основе комплексного учета характеристик личности, отображаемых моделью, представленной на рис. 5.2., является наиболее актуальной и насущной на ближайшую перспективу.

5.3 Оценка характеристических параметров ЛПР

Модель ЛПР, описанная в предыдущем разделе, остается умозрительной картинкой, если не будут найдены методы количественной оценки характеристических параметров ЛПР - привычности, знания и мотивации. Поэтому ниже

излагается основанный на идеях Р. Акоффа [4] подход к измерению этих параметров. Суть подхода состоит в том, что для измерения какого-либо параметра следует поставить личность в такую ситуацию, при которой выбор будет определяться, главным образом, измеряемым параметром. То есть для измерения привычности индивида следует поставить в ситуацию привычности и т. д. Именно с ситуации привычности и начнем наше рассмотрение.

Ситуация привычности состоит в том, что имеются два (или более) возможных результата, которые объединены в два непересекающихся полных класса G_1 и G_2 , причем $V_1 = V_2$ и каждый способ действия имеет одинаковую эффективность по всем результатам, то есть

$$E_{11} = E_{21} = \dots = E_{m1} = L(E_{i1}) \quad \text{и} \quad E_{12} = E_{22} = \dots = E_{m2} = L(E_{i2})$$

При этом

$$0 \leq L(E_{ij}) \leq 1; \quad \sum_i L(E_{ij}) = 1.$$

В таком окружении, когда для индивида не существует проблемы выбора предпочтительного результата, ему остается только выбор способа действия. Но если все потенциальные способы действий по любому результату V_j имеют одинаковую эффективность, то индивид в такой ситуации выберет самый привычный способ. Теперь можно ввести определение степени привычности.

Степень привычности DF_{ij} для субъекта способа действий C_i это вероятность того, что субъект изберет способ C_i в ситуации привычности, когда уровень эффективности $L(E_{ij})$ для любого возможного результата G_j равен единице для всех $i \in I$, то есть

$$DF_{ij} = P_i\{ [C_i] \mid V_j = 1; L(E_{ij}) = 1 \} \quad \text{для всех } i \in I.$$

Соответственно, можно определить функцию привычности

$$P_i = f_F\{[C_i], V_j, L(E_{ij})\}.$$

Как видно из приведенного выражения, функция привычности это дискретная функция, ставящая в соответствие каждому способу действия вероятность выбора этого способа индивидом в ситуации привычности, когда проблемы выбора предпочтительного результата и наиболее эффективного способа действий для индивида не актуальны. Не вдаваясь в теоретические споры о сущности личности, о чертах личности, о путях и причинах их формирования и т. п., отметим только наличие физической возможности описать этот аспект выбора (привычность) указанной математической функцией, определив ее параметры на основе экспериментальных наблюдений.

Ситуация знания - это ситуация выбора в окружении S , в которой доступно множество подспособов действий $[C_{ik}]$ с взаимоисключающими элементами, покрывающими в совокупности морфологически или функционально определенный способ действий C_i . То есть *способ* в более широком смысле отвечает на вопрос “что делать?”, а *подспособ* - на вопрос “как делать?”. При этом эффективность каждого подспособа действий по определенному результату G_j не зависит от субъекта, совершающего выбор. Например, выбрав в качестве способа действий поездку в определенное место, а в качестве подспособа - поездку на автобусе (а, допустим, не на метро или на такси), индивид уже не может повлиять на время проезда - оно теперь от него не зависит.

Пусть e_{ijk} - эффективность подспособа действий C_{ik} по результату G_j в ситуации знания, а P_{ik} - вероятность выбора субъектом этого подспособа. Теперь эффективность способа действий C_i по G_j для A в ситуации знания определяется с учетом того, с какой вероятностью субъект выбирает тот или иной подспособ действий

$$E_{ij} = \sum_k P_{ik} e_{ijk}$$

Из этого выражения следует, что чем с большей вероятностью субъект выбирает более эффективные подспособы действий, тем выше показатель эффективности по данному способу в целом. И, наоборот, чем выше наблюдаемая эффективность способа действий, тем с большим основанием можно полагать, что субъект сознательно выбирает наиболее эффективные подспособы действий, стало быть, имеет об этом способе достаточно высокую степень знания.

Степень знания DK_{ij} , которым субъект A располагает об эффективности способа C_i относительно результата G_j при $V_j = 1$ в окружении S , определяется следующим выражением:

$$DK_{ij} = \left(\frac{E_{ij} - \bar{e}_{ijk}}{\bar{e}_{ijk} - e_{ijk \min}} \mid S, V_j = 1 \right);$$

$$\text{где } \bar{e}_{ijk} = \frac{e_{ijk \min} + e_{ijk \max}}{2},$$

а $e_{ijk \min}$ означает наименьшую (объективную) эффективность, связанную со всеми подспособами действий, и $e_{ijk \max}$ - наибольшую эффективность. Эти величины определяют также предельные (максимальное и минимальное) возможные значения эффективности способа C_i по результату G_j в окружении S .

Заметим, что когда $e_{ijk \max} = 1$ и $e_{ijk \min} = 0$, то $DK_{ij} = 2E_{ij} - 1$ и при $E_{ij} = 1$ из формулы следует значение $DK_{ij} = 1$, а когда $E_{ij} = e_{ijk \min}$, то $DK_{ij} = -1$. Таким образом, измеряемое по предлагаемой методике значение DK_{ij} может изменяться в пределах

$$-1 \leq DK_{ij} \leq 1.$$

Если в процессе наблюдения индивид каждый раз достигает желаемого результата и никогда не получает нежелательных результатов, то его показатель степени знания равен 1, что соответствует полному, причем *истинному* знанию. В

случае если в результате многих попыток у индивида наряду с желательными (для него!) результатами имеются и нежелательные, причем число тех и других результатов примерно одинаково, то его показатель степени знания будет равен нулю, что указывает на полное отсутствие у индивида знаний по выбранному способу действий. И, наконец, если при всех попытках индивид будет получать только нежелательные для него результаты, то значение показателя степени знания у него будет равен -1.

Этот результат можно трактовать как показатель предельного значения ложного знания или полного заблуждения. Обладающий таким ложным знанием индивид с упорством, заслуживающим лучшего применения, раз за разом выбирает наименее эффективные подспособы действия и получает результаты, прямо противоположные желаемым. Весьма часто такие ситуации встречаются в практике воспитания, самолечения и в других жизненных ситуациях.

Знания, которыми располагает индивид, проявляются далеко не всегда. Оказывается, что степень их проявления является четко выраженной функцией от ценности ожидаемого результата. *Функция проявления знания субъектом A способа действий C_i относительно результата G_j в окружении S* - это математическая функция f_k , удовлетворяющая соотношению

$$DK_{ij} = f_k(V_i | S).$$

Степень знания субъектом способа действий может и не зависеть от удельной ценности, которую для него представляет соответствующий результат, но, вообще говоря, следует ожидать, что она будет возрастать с ростом V_j и достигнет максимума при $V_j = 1$. Однако она может и убывать с ростом V_j . Это зависит от “знака” знания, то есть от того, является ли это знание истинным или ложным. Чувствительность от-

носителем V_j степени знания субъектом некоторого способа действий C_i для результата G_j можно измерить производной

$$\frac{d(DK_{ij} | S, V_j)}{d(V_j | S)}.$$

Если эта производная равна нулю, то субъект не знает ничего о способе C_i , если положительна - то субъект имеет знания о способе и чувствителен к удельной ценности результата. Если производная отрицательна, то субъект тоже чувствителен, но с ростом удельной ценности результата растет и степень проявления ложных знаний или глубины его заблуждения. Итак, мотивированность существенно влияет на проявление инструктированности индивида и если последний и обладает какими-либо знаниями относительно некого предмета, то до конца вскрыть глубину этих знаний можно только при условии, что ожидаемый результат будет обладать для него высокой удельной ценностью. А можно ли измерить степень мотивированности субъекта относительно некоторого результата? Можно, конечно, если поставить индивида в ситуацию мотивированности.

Ситуация мотивированности (стремления) имеет место в том случае, если:

1) имеется одинаковое число способов действий и результатов (взаимоисключающих и образующих полное множество);

2) каждый из способов действий имеет максимальную эффективность по одному из результатов и нулевую эффективность по всем остальным результатам;

3) у субъекта привычность, знание и понимание альтернативных способов действий относительно возможных результатов одинаковы.

В такой ситуации объективной основой для выбора способа действий является только стремление к определенному

результату, ибо выбрав способ действий, индивид, тем самым, выбирает и результат, И, наоборот, предпочтительность некоторого результата предопределяет для индивида и выбор способа действий. И эту предпочтительность можно измерить. Мера предпочтительности DI_j для субъекта A результата G_j , принадлежащего к полному множеству взаимоисключающих результатов $\{G_j\}$ в ситуации стремления в окружении выбора S - это вероятность того, что A выберет способ действий, имеющий максимальную эффективность по G_j , сколь бы ни мала была эта эффективность. При этом можно измерить и степень стремления субъекта к предпочтительному результату.

Пусть из всех возможных способов $E_{1max} < E_{2max}$ и субъект, зная это, все-таки выбирает C_1 . Пусть при этом $E_{1max} = (1/k)E_{2max}$ и при каком-то значении $k > 1$ выбор для субъекта станет безразличен - вот эта величина k и явится мерой его стремления к результату G_1 . Так, если, например, в поликлинике очередь на прием к врачу A в пять раз длиннее, чем к другому специалисту такого же профиля - врачу B , а индивид все-таки становится в более длинную очередь, то этот факт отражает меру его предпочтения врача A врачу B .

Рассмотренные три параметра, определяющие результат выбора - привычность, знание и мотивация являются характеристическими в том смысле, что это довольно устойчивые параметры личности, те, которые хранятся в его памяти, сознании, как это показано в модели на рис. 5.2.



Однако на сам процесс получения результата (выбор способа действий и эффективность способа действий) влияют не сами эти характеристические параметры, а динамические параметры: ориентированность, инструктированность и мотивированность, которые хотя и формируются на базе характеристических параметров, однако подвержены сильному воздействию поступающих на управляющие входы сообщений - ориентировки, инструктажа и мотивации.

Таким образом, процесс принятия решений существенно зависит и от исходной подготовленности субъекта от дополнительной информации, поступающей в процессе принятия решения. С учетом этого процесс принятия сложного (важного) решения можно отобразить концептуальной моделью, представленной на рис 5.3.

Процесс принятия решения, в общем случае, является итеративным. Это связано с тем, что далеко не всегда полученный результат удовлетворяет субъекта, то есть не всегда отвечает его ожиданиям. Пусть, например, в ситуации выбора $V(G_1) = 0,8$, а $V(G_2) = 0,2$ и $E_{11} = 0,9$; $E_{12} = 0,1$. Тогда общая ожидаемая полезность способа C_1 составит

$$0,9 \times 0,8 + 0,1 \times 0,2 = 0,74.$$

Но субъект ожидает получить не 0,74, а 0,8. И если в одной из попыток он получает 0,2, то он может либо удовлетвориться скромным результатом, либо вернуться вновь к ситуации выбора. Для этого надо пересмотреть знания, хранящиеся у него в памяти, и переформулировать проблему. Затем перестроить используемую для выбора решения модель и произвести оценку вновь построенной модели и т. д. Все это индивид осуществляет, двигаясь по контурам, показанным на рис. 5.3., и повторяя циклы формирования решения до получения желаемого результата.

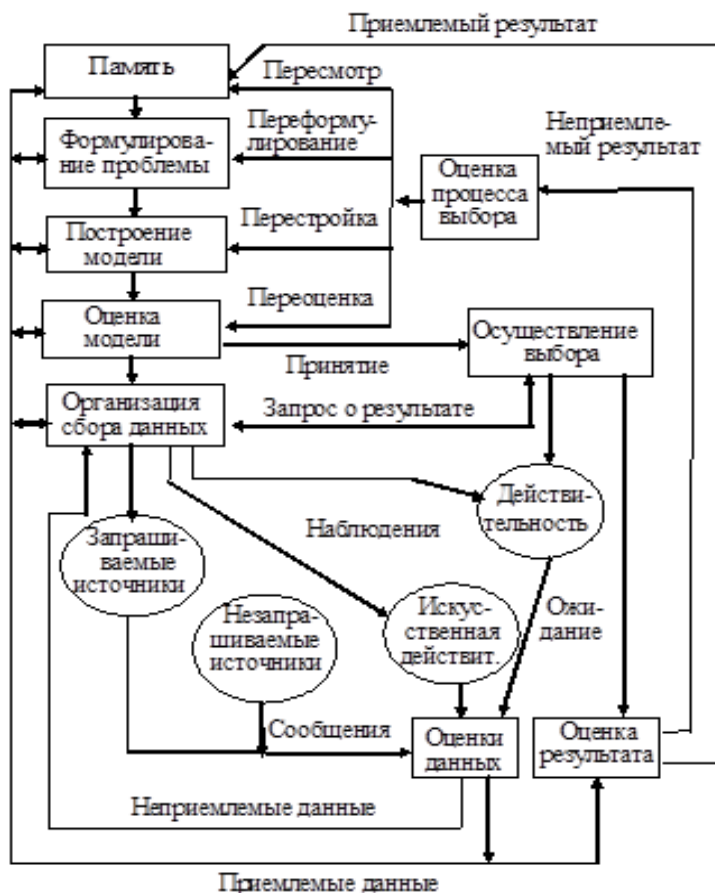


Рис. 5.3. Концептуальная модель процесса принятия решения

Процесс может быть прекращен при отказе от получения этого решения вследствие его недостижимости, либо несоответствия ожидаемой полезности с объемом затрат (временных, информационных, материальных), требуемых для его получения.

Рассмотренная модель достаточно наглядно иллюстрирует тот факт, что в процессе формирования сложных (важных) решений как раз и пересекаются *Наука* и *Искусство*.

Роль науки состоит в том, что грамотное применение всех процедур, указанных в модели на рис. 5.3. и эффективное использование их результатов обеспечивает фундаментальную основу для принятия правильного решения в критической ситуации. А искусство ЛПР заключается в умении своевременно прекратить процесс поиска наилучшего решения, дабы принятое решение не оказалось запоздалым.

5.4 Анализ и оценка информативности сообщений

Как следует из концептуальной модели ЛПР, представленной на рис. 5.2., информационными характеристиками сообщений, на основе которых осуществляется в организационных системах взаимодействие между их участниками (активными элементами) являются ориентировка, инструкция и мотивация.

Ориентировка - сообщение, продуцирующее изменение какой-либо вероятности выбора за счет изменения представления индивида о наборе доступных ему в данном окружении способов действий. Иначе - это сообщение, информирующее индивида об обстановке (окружении).

Инструкция - сообщение, продуцирующее изменения в эффективности какого-либо способа действий получателя, то есть повышающее его знания относительно этого способа.

Мотивировка - сообщение, продуцирующее изменения в каких-либо удельных ценностях, которые получатель приписывает тем или иным результатам.

В общем случае, в каждом из сообщений, циркулирующих в организационной системе, могут содержаться все три названных вида сообщений в разных пропорциях, и именно количество ориентировки, инструкции и мотивации, содержащееся в сообщении, определяют его информационную ценность в данном состоянии выбора. Конечно, большая часть сообщений являются комплексными, то есть содержат не один, а два или все три перечисленных выше специфических сообщений. Но как для “монохромного” сообщения, со-

держашего “чистую” ориентировку или инструкцию, или мотивацию, так и для комплексного сообщения может быть предложена количественная мера содержания каждого вида специфичных сообщений, а также методика экспериментального определения этих количеств.

Прежде чем перейти к рассмотрению возможных количественных мер, позволяющих дифференцировать сообщения по признаку содержащихся в них компонент, целесообразно уточнить, какие, на сегодняшний день существуют подходы для количественной оценки информации, содержащейся в сообщениях. Наиболее простой и наименее информативной является “объемная” мера информации, выражаемая в специальных единицах - *битах*. Известно, что любой символ может быть закодирован в двоичном коде, то есть, представлен последовательностью чисел “1” и “0”. Далее эта информация может быть записана на машинном носителе информации в специальные ячейки, каждая из которых может находиться в одном из двух состояний - “1” или “0”. Информационная емкость одной такой ячейки и составляет единицу объема информации, которая называется *бит*.

Объемная мера информации сама никакой содержательной информации о характере сообщения не несет, кроме указания минимальной емкости носителя, на которую это сообщение может быть записано. Более содержательной, в этом плане, является мера информации по Шеннону, которая определяется следующим образом: если в некотором состоянии имеется M равновероятных сообщений, то получение одного из них содержит x единиц информации

$$x = \log_n M.$$

Если вероятности отдельных сообщений в некотором состоянии не одинаковы, то мера информации H , содержащейся в одном сообщении, определяется выражением

$$H = \sum_i P_i |\log_n P_i| ,$$

где P_i - вероятность выбора i -го сообщения. Если в этом выражении употребляется $\log_2$, то значение H выражается в двоичных единицах, которые так же называются *битами*. Таким образом, состояние, в котором заключено два равновероятных сообщения, содержит 1 бит информации. Но это совсем не те биты, в которых измеряется объем сообщения. Так, например, прогноз погоды на один из осенних дней, в котором выделяются четыре возможных состояния типа: “либо дождик, либо снег, либо будет, либо нет”, по Шеннону содержит два бита информации. И сообщение о том, что реализован один из этих четырех “прогнозных” вариантов (пошел дождик) содержит 0,5 бита информации. А объемная мера сообщения составляет 44 байта (пробел между словами так же занимает емкость в один байт, как и любой другой символ)

Таким образом, мера информации по Шеннону заключает в себе определенную содержательную оценку лишь одной характеристики сообщения, а именно степень его неожиданности. Если поступает сообщение о состоявшемся событии, вероятность наступления которого была равна единице, то по Шеннону в этом сообщении, сколь бы объемным оно ни было, и о сколь бы важном событии в нем говорилось, содержание информации близко к нулю. И, наоборот, самое короткое сообщение о реализации маловероятного события содержит гораздо больше информации.

По сравнению с объемной мерой это уже заметный шаг вперед, однако, существенным недостатком этого подхода является тот факт, что оценивается лишь *неожиданность* сообщения и никак не оценивается его *значимость* для получателя. Так, сообщение о том, что в США победил на выборах президента совершенно неожиданный претендент, и сообщение о том, что в соседней квартире начался пожар, мо-

гут для получателя иметь одинаковую меру неожиданности и, стало быть, одинаковую меру информации по Шеннону. Однако совершенно очевидно, что в плане необходимости принятия решения второе сообщение является для получателя гораздо более важным.

Поэтому логичен переход к следующему уровню методики оценки содержательности поступающих сообщений, позволяющему оценить влияние сообщения на параметры выбора. Так, в ситуации, возникшей в предыдущем примере в связи с сообщением о пожаре в соседней квартире, весьма полезным было бы сообщение о том, где находится гидрант и пожарный шланг (*ориентировка*) и как ими можно воспользоваться (*инструкция*). Понятно, что ценность таких сообщений принципиально зависит от ситуации, своевременности сообщения (“Дорого яичко ко Христову дню”) и возможности его использования. Описываемый ниже подход к определению информационной ценности сообщений как раз и учитывает эти обстоятельства.

Пусть у индивида A есть два потенциальных способа действий - C_1 и C_2 . Если в ситуации выбора для него $P_1 = P_2$, то положение для A является неопределенным, то есть он находится в неопределенной ситуации выбора. *Неопределенная ситуация выбора* - состояние, в котором вероятность выбора каждого из m доступных способов, непересекающихся и образующих полное множество, равна $1/m$. Если в такой ситуации добавится еще такой же $(m + 1)$ - й способ, то ничего не изменится. Ситуация останется столь же неопределенной.

Если же $P_1 = 1$, $P_2 = 0$, то ситуация уже полностью определена. И здесь дополнительная ориентировка уже бесполезна. При равенстве единице одной из вероятностей выбора имеет место полностью *определенная* ситуация выбора. А теперь можно определить единицу ценности ориентировки. Сообщение, которое превращает *неопределенную* ситуа-

цию выбора из двух альтернатив в *определенную*, содержит количество *ориентировки*, равное *единице*.

Если в ситуации выбора имеется m возможных способов действий, то в состоянии неопределенности $P_i = 1/m$, и, для того, чтобы выбрать одну альтернативу с определенностью, надо произвести, по крайней мере, $m - 1$ попарных выборов. Тогда мерой отклонения любого состояния от неопределенности может служить величина

$$\sum_{i=1}^m |P_i - 1/m| ,$$

где P_i - вероятность выбора одного из состояний.

Для неопределенного состояния ($\forall P_i = 1/m$) эта сумма равна нулю, а в полностью определенном состоянии только одна из величин $\exists P_i = 1$, а остальные равны нулю. Значит, при m альтернативах предельно достижимое отклонение от неопределенного состояния выразится величиной

$$\sum_{i=1}^m |P_i - 1/m| = |1 - 1/m| + (m-1)|0 - 1/m| = 2 - 2/m .$$

В каком-то конкретном состоянии, в котором имеется m альтернатив, степень отклонения от неопределенности измеряется величиной

$$\frac{1}{2 - 2/m} \sum_{i=1}^m |P_i - 1/m| ,$$

которая изменяется от 0 до 1. Количество ориентировки, полезной в этом состоянии выбора, определяется величиной

$$\alpha = \frac{m-1}{2 - 2/m} \sum_{i=1}^m |P_i - 1/m| = \frac{m}{2} \sum_{i=1}^m |p_i - 1/m| .$$

Тогда чистое количество сообщенной ориентировки есть количество ориентированности, содержащейся в состо-

янии получателя после получения сообщения, минус количество ориентированности, содержащейся *до того*. То есть чистое количество (приращение) полезной ориентировки, полученное в сообщении определяется выражением:

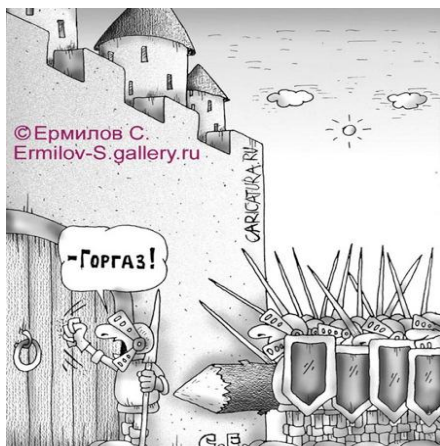
$$\alpha_N = \alpha_2 - \alpha_1 = \frac{m}{2} \sum_{i=1}^m |P'_i - 1/m| - \frac{m}{2} \sum_{i=1}^m |P_i - 1/m|.$$

Эта мера может иметь значения от $-(m - 1)$ до $(m + 1)$. Отрицательные значения соответствуют потере ориентировки при приходе от определенного состояния к неопределенному. Причем эта потеря не связана напрямую с истинностью полученного сообщения.

Сообщение может быть ложным, и тогда потеря ориентировки является следствием дезинформации. Дезинформацией является ложное сообщение, передаваемое с определённой целью ввести получателя в заблуждение. Но сообщение может быть и истинным, но носить такой характер, что меняет представление о доступных спо-

собах действия и в силу этого ситуация становится неопределенной. Любопытная, ситуация возникает, если в полностью определенной ситуации выбора из двух альтернатив ($P_1 = 1$, $P_2 = 0$) вследствие полученного сообщения вероятности выбора изменяются так, что теперь $P_1 = 0$ и $P_2 = 1$.

В этом случае и начальное состояние и финальное (после получения сообщения) имеют одинаковую меру неопределенности, равную нулю. Из приведенного ранее выражения для оценки приращения ориентировки формально следу-



ет, что это приращение равно нулю. Но это не верно. Такое сообщение, которое обуславливает изменение в выборе альтернатив, может оказаться очень важным, если в результате этого изменения получатель откажется от выбора плохой альтернативы в пользу хорошей (хотя может случиться и обратное, если сообщение было ложным).

В этой ситуации правильнее будет говорить о *замене* ориентированности и о том, что сообщение содержит такое количество ориентировки, которое заменило имевшуюся ориентированность на другую. С учетом этого целесообразно использовать меру общего количества ориентировки, переданной получателю. Для этого надо измерить то количество отклонения от неопределенности, которым обладало начальное состояние, и то количество ориентированности, которым отличается конечное состояние выбора от начального состояния $\Sigma |P'_i - P_i|$.

Теперь возьмем отношение этого отклонения к максимально возможному отклонению от неопределенности, равному $(2 - 2/m)$, и умножим на максимальное количество ориентированности, которое может содержаться в данном состоянии, равное $(m - 1)$. Полученное выражение и будет определять общее количество ориентировки α_G , переданной получателю:

$$\alpha_G = \frac{m-1}{2-2/m} \sum_i |P'_i - P_i| = \frac{m}{2} \sum_i |P'_i - P_i|.$$

Минимальное значение этой величины равно нулю, максимальное - значению **m**. Тогда количество замененной ориентированности α_E можно найти из выражения

$$\alpha_E = \alpha_G - \alpha_N,$$

В случае если $P_1 = 1, P_2 = 0$ и $P'_1 = 0, P'_2 = 1$ получаем: чистое количество ориентировки

$$\alpha_N = \alpha_2 - \alpha_1 = (2/2) |1 - 0| - (2/2) |0 - 1| = 0;$$

общее количество переданной ориентировки

$$\alpha_G = (2/2)\{ |1 - 0| + |0 - 1| \} = 2;$$

замененное количество ориентировки

$$\alpha_E = \alpha_G - \alpha_N = 2 - 0 = 2,$$

то есть имеет максимально возможное в данной ситуации значение.

Предложенная мера количества ориентировки имеет относительный характер, поскольку существенно зависит от того, как исследователем сформулированы альтернативные способы действий. Допустим, один исследователь формулирует два таких взаимоисключающих и образующих полное множество способа действий по доставке медикаментов из центрального склада в аптеки:

C_1 - использование специального автомобиля;

C_2 - использование любого другого способа.

А другой исследователь анализирует такие возможности:

C_1 - использование специального автомобиля;

C_2 - использование арендованного автомобиля;

C_3 - самовывоз;

C_4 - использование любого другого способа.

Если в результате обработки полученных сообщений в обоих случаях использован способ C_1 , то первый исследователь найдет, что было получена одна единица ориентировки, а второй - три. Отсюда следует, что введенная мера зависит и от ЛПР, и от *исследователя*. Однако всегда можно подогнать меры, полученные двумя исследователями, так, чтобы они были согласованы. Неопределенность, кстати, присуща и Шенноновской мере: действительно, эту меру можно применять и к букве алфавита, и к фонеме, и к целому слову, и ко всему сообщению в целом (не зависимо от его объема).

Итак, назначение ориентировки - обеспечить основу для выбора, то есть дать *убеждение* в большей эффективности одного варианта по сравнению с другим. Таким образом, ин-

формация изменяет *объективные вероятности выбора*, изменяя *субъективные оценки ожидаемого результата*. Естественно, что эффективность ориентировки зависит от ряданеобходимых свойств:

Ориентировка должна быть лаконичной и четкой. Она не должна быть запоздалой. Назначение же *инструкции* состоит в изменении *объективных вероятностей успеха*, то есть эффективности. По Р. Акоффу мера инструктированности субъекта в каком-то состоянии выбора определяется мерой его возможности управлять вероятностью достижения результатов в этом состоянии. Субъект полностью управляет (владеет) ситуацией, если выбирая определенные способы действий, он всегда добивается желательного результата и никогда не приходит к нежелательному. Однако, граница между ориентировкой и инструкцией достаточно условна. Одно и то же сообщение может быть воспринято и как ориентировка и как инструкция.

Инструктировать субъекта - значит наделять его дополнительной способностью к управлению. Меру степени инструктированности субъекта относительно способа действий C_1 можно определить следующим способом. Пусть имеется два результата G_1 и G_2 таких, что $V_1 = 1$, $V_2 = 0$, то есть первый результат является желательным для субъекта, а второй - сугубо нежелательным. В этой ситуации эффективность использования способа C_1 можно считать максимальной, если $E_{11} = 1$ и $E_{12} = 0$. То есть, если использование способа C_1 всегда приводит к результату G_1 и никогда не приводит к результату G_2 . А если ценности результатов изменятся на противоположные, то есть станут равными $V_1 = 0$ и $V_2 = 1$, то и эффективности соответственно должны измениться на $E_{11} = 0$ и $E_{12} = 1$.

Если имеет место именно такая взаимосвязь между ценностями результатов и эффективностью выбранного для их достижения способа действий, то можно говорить о том, что субъект полностью управляет ситуацией. Степень управле-

ния β_{ij} субъекта A конкретным способом действий C_i относительно конкретного результата G_j определяется следующим соотношением:

$$\beta_{ij} = (E_{ij} \mid V_j = 1) - (E_{ij} \mid V_j = 0)$$

Очевидно, что $-1 \leq \beta_{ij} \leq 1$,

то есть, степень управления имеет минимальное значение, равное в том случае, если субъект совершенно неверно использует выбранный метод действий и получает при этом результаты, противоположные желаемым.

Если выбранный способ действий влечет за собой множество результатов, то степень управления β_i субъекта A конкретным способом действий C_i относительно множества из n результатов определяется соотношением:

$$\beta_i = \sum_{j=1}^n \beta_{ij},$$

при этом очевидно, что $-n \leq \beta_i \leq n$.

В общем случае, степень управления β субъекта A в целеустремленном состоянии, характеризующемся множеством m способов действия и множеством n результатов, можно найти из соотношения:

$$\beta = \sum_{i=1}^m \beta_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij}.$$

Очевидно, что $-mn \leq \beta \leq mn$.

Чистое количество инструкции β_N , сообщенной получателю, определяется выражением:

$$\beta_N = \beta_2 - \beta_1, \text{ где } -2mn \leq \beta_N \leq 2mn.$$

Из приведенного выше выражения видно, что сообщение может привести не только к обучению (повышению

управления), но и к потере управления. Обсуждая эту ситуацию, Р. Акофф говорит о “потере знания”, но с этим трудно согласиться. В отличие от ЭВМ, где введенная запись может быть стерта, человек не имеет механизма сознательного “стирания записей” из памяти и, соответственно, не может при получении какого бы-то ни было сообщения “терять знания”, а может их только приобретать. Так, что если вследствие полученного сообщения субъект хотя и теряет управление, то это значит, что он все равно *приобрел* знания, но знания *ложные*, то есть инструкция была, либо *ошибочной*, либо заведомо *ложной* (*дезинформация*).

Введенное выше определение количества инструктированности ЛПР и количества приращения инструктированности, которое он может приобрести, получив соответствующее сообщение, позволяют ввести новое определение понятия научное (инженерное) творчество. *Научное (инженерное) творчество есть продуцирование новых инструкций*.

Так же, как и в случае с ориентировкой, для инструкции могут быть определены величины общего количества и количества замененной инструкции. *Общее количество инструкции* β_G , сообщенной получателю, определяется выражением:

$$\beta_G = \sum_i \sum_j |\beta_{ij} - \beta_{ij}|.$$

Поскольку значение $|\beta_{ij} - \beta_{ij}|$ меняется от 0 до 2, то, соответственно, $0 \leq \beta_G \leq 2mn$.

Как и в случае с ориентировкой, может случиться так, что при получении инструкции мера инструктированности получателя не изменяется. То есть он остается инструктированным в той же мере, что и до получения сообщения, однако теперь его инструктированность ориентирована на получение иных результатов. В этой ситуации речь идет о *замене*

инструкции. Количество замененной инструкции β_E определяется выражением:

$$\beta_E = \beta_G - |\beta_N|, \text{ где } 0 \leq \beta_E \leq 2mn.$$

Ориентировка и инструкция - понятия относительные. Одна может быть переопределена в другую переопределением способов действий. Рассмотрим в качестве примера ситуацию, когда способ действий C_1 определен как использование ЭВМ для решения некоторой задачи. Субъект разрабатывает для этого собственную программу с вероятностью успеха 0,5. А ему передают сообщение, что для решения поставленной задачи надлежит вызвать готовую программу, записанную под именем REDIPRO.EXE. После этого сообщения, являющегося *инструкцией*, эффективность способа C_1 для субъекта повысится до значения 1. Однако можно определить, что способ C_1 - это использование ЭВМ с *собственной* программой, а способ C_2 - с ранее разработанной *готовой*. Тогда сообщение о том, что подходящая готовая программа уже имеется в наличии, является *ориентировкой*. Получив это сообщение, субъект изменяет выбор и вместо способа C_1 решает использовать способ C_2 .

При рассмотрении количественной меры для мотивации можно привести рассуждения подобные тем, что были приведены ранее для ориентировки и инструкции. Поэтому, для краткости, ограничимся простым перечислением понятий, полагая, что их обоснованность обеспечена предыдущими рассуждениями и не требует дополнительных. Состояние, в котором имеется n доступных результатов таких, что ценность (притягательность) их для ЛПР одинакова, задается условием

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n = 1/n.$$

Это состояние, которое не содержит никакой мотивации. Соответственно, в состоянии полной мотивированности $V_i = 1$, $V_j = 0$ для всех $i \neq j$. В общем случае количество мо-

тивации γ в состоянии выбора при n доступных результатах есть

$$\gamma = \frac{n}{2} \sum_{j=1}^n |V_j - 1/n|.$$

Чистое количество мотивировки, сообщенной получателю,

$$\gamma_N = \gamma_2 - \gamma_1.$$

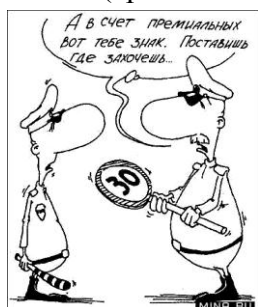
Общее количество мотивировки, сообщенной получателю

$$\beta_G = \sum_i \sum_j |\beta_{ij} - \beta_{ij}|.$$

Количество замененной мотивации $\gamma_E = \gamma_G - |\gamma_N|$.

Поскольку способы действия и результаты (средства и цели) являются понятиями трансформируемыми, то ориентировка может превратиться в мотивацию и, наоборот. По существу, мотивацией является та ориентировка, которая связывает некий результат с какой-то более общей целью, то есть превращает этот результат в средство достижения более важной (более общей) цели.

В отличие от инструкции, которая может быть сгенерирована заново, генерация принципиально новой мотивации в чистом виде, по-видимому, невозможна. Сообщение, содержащее мотивацию для некоторого действия (поведения) должно указывать к каким последствиям это действие или поведение приведет. Такое сообщение может иметь позитивно-



стимулирующий характер, либо принудительную стимуляцию, например, в виде прямой угрозы.

Вся совокупность приведенных выше определений количественной меры ориентировки, инструкции и мотивировки позволяет конструктивно оценить общую ценность каждого сообщения, циркулирующего в организационной системе. В общем случае ценность сообщения для получателя определяется разностью $V_2^* - V_1^*$ между ценностями конечного и начального состояний:

$$V_2^* - V_1^* = \Delta V^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_i + \Delta P_i)(E_{ij} + \Delta E_{ij})(V_j + \Delta V_j) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i E_{ij} V_j$$

После раскрытия этого выражения и перегруппировки в нем можно выделить три члена, которые по отдельности определяют прирост в ценности состояния выбора за счет полученных ориентировки, инструкции и мотивации:

Ценность сообщенной ориентировки:

$$\Delta V_\alpha^* = \sum_i \sum_j \Delta P_i E_{ij} V_j$$

Ценность сообщенной инструкции:

$$\Delta V_\beta^* = \sum_i \sum_j P_i \Delta E_{ij} V_j.$$

Ценность сообщенной мотивации:

$$\Delta V_\gamma^* = \sum_i \sum_j P_i E_{ij} \Delta V_j.$$

Каждое из этих выражений может принимать и положительное и отрицательное значение. При этом отрицательное значение приращения ориентировки не означает низкого качества полученного сообщения. Наоборот, оно может быть очень важным, предотвратив получателя от принятия уже готового (в его анализе) решения и указав на дополнительные обстоятельства, которые надо еще проанализировать. То же самое относится и к отрицательному значению мотиви-

ровки. Но, что касается инструкции, то потеря управления может быть вызвана только получением ложной инструкции. Впрочем, отрицательные значения ориентировки и мотивировки так же могут быть следствием ошибочного сообщения или намеренно организованной дезинформации.

Литература

1. Абульханова-Славская К. А. Деятельность и психология личности. – М., 1980. – С. 113–185, 210–259.
2. Аверин В. А. Психология личности. – СПб.: Изд-во Михайлова В. А., 1999. – 89 с.
3. Ананьев Б. Г. Психологическая структура человека // Человек и общество. – Л.: ЛГУ, 1967. – Вып. 2. – С. 235–249.
4. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. Пер. с англ. – М.: - Сов. радио, 1974. – 271 с.
5. Бескровный И. М. Системная модель оператора полупроводникового производства. Электронная техника, сер. 3 «Микроэлектроника», вып.2(158), 2006 г., 10 стр
6. Леонтьев Д. А. Очерк психологии личности. – 2-е изд. – М.: Смысл, 1997. – 64 с.
7. Личность: внутренний мир и самореализация. Идеи, концепции, взгляды / Сост. Ю. Н. Кулюткин, . С. Сухобская. – СПб., 1996. – 175 с.
8. Мерлин В. С. Структура личности: характер, способности, самосознание // Учеб. пособие к спецкурсу «Основы психологии личности». – Пермь: ПГПИ, 1990. – 110 с.
9. Платонов К. К. Система психологии и теория отражения. – М., 1982.
10. Рейнвальд Н. И. Психология личности. – М.: Изд-во УДН, 1987. – 200 с.

Глава 6 Модели и методы управления в организациях

6.1 Исходные определения. Основные режимы управления

При анализе процесса управления в организационных системах выделяются три основных объекта: управляемый объект, механизм (система) управления и управляющий субъект. Управляющего субъекта будем называть лицом, принимающим решение (ЛПР), поскольку в организационных системах любое управляющее воздействие, так или иначе, осуществляется на основе принятия решения. Тогда, с учетом вышесказанного *процесс управления есть процесс воздействия ЛПР через систему управления на управляемый объект с целью приведения последнего в желаемое для ЛПР состояние.*

Таким образом, минимальная система, в которой может иметь место процесс управления, может быть представлена обобщенной блок-схемой, представленной на рис. 6.1.

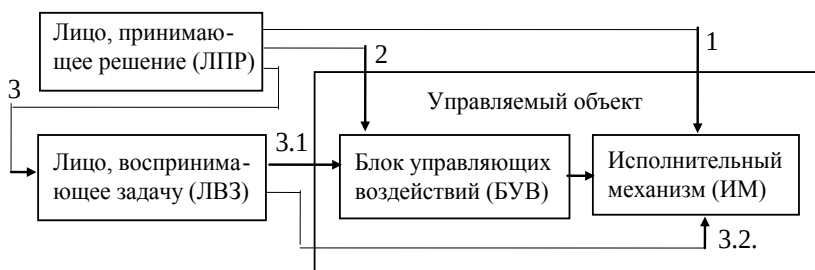


Рис. 6.1. Обобщенная блок - схема минимальной системы, обеспечивающей реализацию процесса управления

В общем случае, (не ограничиваясь организационными системами), передача управляющих воздействий от ЛПР на исполнительный механизм может осуществляться различ-

ными путями в зависимости от степени сложности (развитости) механизма управления:

1) Непосредственно на исполнительный механизм (путь 1 на рис. 6.1.) и в этом случае управление состоит в том, что ЛПР *непосредственно* приводит исполнительный механизм управляемого объекта в надлежащее положение: поворачивает на требуемый угол руль автомобиля, штурвал корабля, парус или изменяет тем или иным образом состояние соответствующего органа управления. Следствием такого воздействия является отклик управляемого объекта, меняющего курс в соответствии с установленным положением исполнительного механизма. Такое управление можно назвать “*штурвальным*”.

При штурвальном управлении механизм управления беспрекословно воспроизводит действия ЛПР. Все ошибки, проистекающие при штурвальном управлении - суть ошибки ЛПР, имеющие место в том случае, если он неверно рассчитал и осуществил управляющее воздействие.

Сущность режима штурвального управления не изменяется и в том случае, если между ЛПР и исполнительным органом стоит некий механизм (например, гидроусилитель на приводе тормоза или на рулевом управлении). Это не меняет характера управления, поскольку при этом сохраняется строгая пропорциональность между механическим воздействием (руками или ногами или всем корпусом тела и т.п.) и устанавливаемым положением исполнительного механизма управляемого объекта. Таким образом, при штурвальном управлении качество (своевременность, эффективность) управляющих воздействии целиком зависит от ЛПР.

2) Воздействия от ЛПР могут поступать вначале на блок управляющих воздействий (БУВ). В этом случае имеет место “*командное (сигнальное)*” управление. Обрабатывающее устройство преобразовывает поступающие команды в форму тех воздействий, которые поступают непосредственно на исполнительный механизм управляемого объекта. Обрабаты-

вающее (преобразующее) устройство естественно может быть подвержено ошибкам, сбоям, так, что конечный результат от подачи управляющей команды может быть не совсем (или совсем не) таким, каким ожидал его ЛПР.

Тем не менее, и при сигнальном управлении конечный результат управления (результатирующее состояние управляемого объекта) зависит от воли одного единственного субъекта, а именно от ЛПР. Так, что степень приближения к намеченной им цели остается достаточно высокой и распределение ошибки отклонения, обусловленное погрешностями блока управляющих воздействий, может быть сделано достаточно узким, если принять надлежащие меры по повышению точности и надежности БУВ.

3) В организационных системах управляющее воздействие (поставленная задача, намеченная цель) от ЛПР поступают не на механизм, а воспринимаются индивидом, которого будем называть лицом, воспринимающее задачу (ЛВЗ) (путь 3 на рис. 6.1.). Далее от ЛВЗ воздействие проходит либо через БУВ (путь 3.1), либо непосредственно на исполнительный механизм (путь 3.2). Теперь характер вторичного управляющего воздействия (проходящего путь 3.1 или 3.2) зависит не только от решения ЛПР, а преобразуется решением ЛВЗ, вследствие принятия которого изменение состояния управляемого объекта может значительно отличаться от того, каким хотел бы его видеть ЛПР при принятии первичного решения.

В этой ситуации ЛПР, если он хочет добиться выполнения поставленной им задачи, должен сообщить лицу, воспринимающему задачу, не просто постановку этой задачи, а дать соответствующую *ориентировку*, снабдить необходимой *инструкцией*, а, самое главное, дать соответствующую *мотивировку* в тех количествах, которые обеспечат ожидаемый результат. В силу того, что в этой ситуации одной из важнейших компонентов управляющего воздействия являет-

ся мотивировка, такое управление будем называть *мотивационным*.

Следует подчеркнуть, что наличие мотивировки непосредственно в каждом сообщении, которое несет постановку задачи, не обязательно. Важно, чтобы лицо, воспринимающее задачу, в принципе имело необходимую *мотивированность* для ее выполнения.

Эта мотивированность обеспечивается всей совокупностью документов, регламентирующих распределение труда, власти и ответственности в организационной системе, то есть ее организационной структурой. Но для того, чтобы эта мотивированность поддерживалась на достаточном уровне, необходимо с определенной периодичностью передавать такие управляющие сообщения, которые несли бы в себе достаточное количество дополнительной мотивировки. Это является основным условием эффективности мотивационного управления.

Системы мотивационного управления отличаются от остальных систем характером информационного взаимодействия. Принципиальное отличие состоит в том, что в этих системах субстратом взаимодействия является *сообщение*. В тех же системах, которые не могут быть отнесены к классу систем мотивационного управления, субстратом информационного взаимодействия является *сигнал*, по этому признаку их можно назвать системами сигнального управления. Разница между сигналом и сообщением состоит в следующем:

Сигналы, циркулирующие в системах сигнального управления и обеспечивающие взаимодействие их отдельных компонентов и подсистем, являются продуцентами физиче-

Четвертое
предупреждение
и желтая карточка!



ских процессов. Сообщения, циркулирующие в системах мотивационного управления, являются продуцентами решений.

Какой режим управления (из трех перечисленных) имеет место в каждом конкретном случае, определяется не только структурной схемой, но и установленными в системе отношениями. Конечно, если ЛПР непосредственно воздействует на исполнительный механизм, то такое управление не может быть мотивационным, а всегда является только штурвальным. Но в том случае, когда от ЛПР управляющее воздействие передается к ЛВЗ, управления не обязательно является мотивационным, а может носить характер сигнального или даже штурвального. Последнее имеет место в системах с жесткой дисциплиной, вводимой там, где точное выполнение каждой команды является необходимым условием безопасности управляемого объекта.

Например, капитан большого судна непосредственно сам не держит в руках штурвал или рукоятки командного телеграфа в машинное отделение. Он только подает команды типа “лево руля, ... малый вперед, лево на борт, средний вперед” и т. п. А лица, воспринимающие задачи (рулевой, вахтенный офицер) только повторяют эти команды (для подтверждения правильного их понимания) и незамедлительно исполняют, не делая ни малейших попыток к собственной их интерпретации.

Ясно, что в этих условиях действия ЛВЗ внешне не отличаются от действий механизмов, поскольку находясь в позиции *операторов*, они *не находятся в состоянии выбора*. И режим управления при этом, естественно, приближается к штурвальному. Таким образом, создав структурную схему, позволяющую осуществлять мотивационное управление, сам режим управления можно варьировать в широком диапазоне от штурвального до мотивационного.

Чем более критичной становится ситуация, требующая принятия решения, чем четче и безоговорочней требуется его реализация, тем ближе режим управления должен прибли-

жаться к штурвальному. Штурвальное управление обеспечивает наибольшее приближение полученного результата к тому, который задается лицом, принимающим решение. Но эта четкость достигается не даром. Те субъекты, которые поставлены в положение операторов и лишены права выбора, тем самым исключены из сложного процесса формирования решения. Их интеллект, по существу, очень слабо используется и, поэтому, полученный результат, хотя и близок к задуманному, зато беден по характеру своей реализации.

Штурвальное управление весьма эффективно лишь при решении относительно простых ("лобовых") задач (ошвартоваться, атаковать, уничтожить и т. п.). По мере же того, как задача становится сложнее, комплекснее, охватывает большие временные и пространственные горизонты, все актуальней становится проблема эффективного использования всего творческого потенциала, всей интеллектуальной мощи участников организационной системы, а это достигается только при максимальном приближении режима управления к мотивационному. Мотивационное управление, с одной стороны, является наиболее демократичным, а с другой стороны обеспечивает такую активность и целеустремленность исполнителей, которую невозможно обеспечить ни при каком-либо ином режиме управления. При правильно выбранных методах и механизмах мотивационного управления, исполнители не только не будут испытывать тяжести возложенных на них заданий, а, наоборот, будут получать только удовольствие от предвкушения достижения своих собственных целей, которое произойдет (как они полагают) в результате выполнения поставленной задачи.



6.2 Структурные модели управления в организационных системах

При рассмотрении организационной структуры любой сколь-нибудь развитой организационной системы в ней можно выделить управляемую и управляющую подсистемы, как это показано на рис. 6.2.

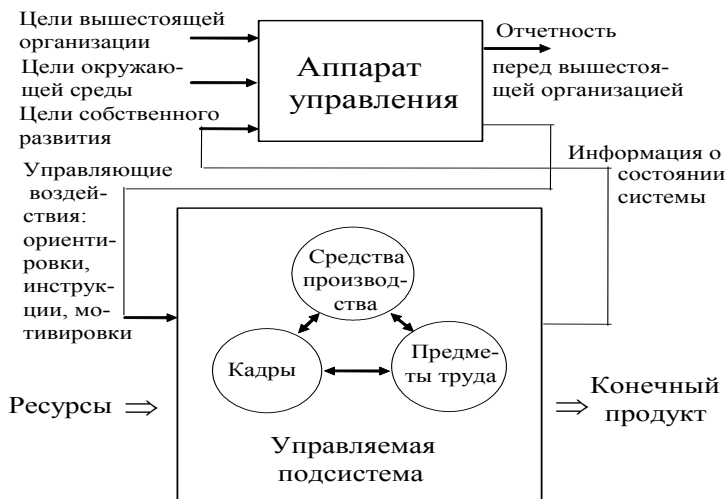


Рис.6.2. Обобщенная структурная модель организационной системы

Тип управляющей подсистемы может быть самым различным: государство, ведомство, орган самоуправления, руководящий орган партии и т. д. Важно подчеркнуть факт наличия структурного разделения организационной системы и необходимость учета целей обеих подсистем. Необходимость выделения управляющей подсистемы вызывается тем, что управление постоянно развивающейся системой требует осуществления специальной организационно-управленческой деятельности с помощью административно-правовых и экономических средств (норм и санкций).

Цели, стоящие перед всей организацией в целом, как задаваемые вышестоящей системой (метасистемой), внешней

средой, так и цели собственного развития, воспринимаются и формируются управляющей подсистемой. На управляемую подсистему поступают управляющие воздействия (решения), формируемые управляющей подсистемой таким образом, чтобы состояние системы в наибольшей степени соответствовало задаваемому.

Процесс восприятия, осознания и формулировки целей организационной системы, сопоставления фактического поведения и состояния системы с тем поведением и состоянием, которые соответствуют задаваемым целям, и выработка управляющих воздействий (решений), направленных на ликвидацию выявляемого несоответствия, и составляют предмет деятельности управляющей подсистемы.

Цели могут задаваться в двух вариантах: цель - как *желаемое поведение* системы и цель - как *желаемое состояние*. Цели, задаваемые в первом варианте, можно назвать *целевым назначением*. Набор таких целей отвечает на вопрос “каково назначение данной системы?” и формулируется в терминах типа: “обеспечение разработки фундаментальных и прикладных знаний в области биологии и медицины”, «обеспечение охраны правопорядка», «обеспечение помощи в чрезвычайных ситуациях» и т. п. Цели этого класса являются, глобальными целями системы. Они определяют постоянное целевое назначение системы и поэтому их можно считать статическими для данной системы. В тех же случаях, когда отпадает необходимость в этих целях, то, по существу, отпадает надоб-

ность и в данной системе. И тогда реорганизация системы под новый набор статических целей есть не что иное, как *создание новой системы* с использованием готовой элементной базы. При этом на основе нового набора статических целей в соответствии с этапами, перечисленными в главе 4, разрабатывается статическая модель и проектируется статическая структура управляющей подсистемы.

Синонимом понятия “цель” для целей, относящихся ко второму варианту, можно считать понятие “задание” (“задача”). Набор целей этого класса отвечает на вопросы “сколько?”, “в какие сроки?”, “какого качества?” и т. п. Эти цели формулируются на определенный период времени с учетом динамики изменения требований метасистемы, состояния внешней среды, потока поступающих в систему ресурсов и степени соответствия фактического поведения системы ее глобальным целям. Поэтому цели этого класса являются динамическими.



Рис. 6.3. Основные контуры управления организационной системой

На основе набора динамических целей разрабатывается динамическая модель и проектируется динамическая структура управляющей подсистемы. Обобщенная схема взаимо-

связи между статической и динамической структурами управляющей подсистемы и объектом управления в организационной системе представлена на рис. 6.3. Статическую структуру системы образуют блоки 1 - 7, а динамическую - блоки 3, 4, 8 - 11. Цепь, образованная блоками 1 - 5, формируется в соответствии с основными этапами обобщенного алгоритма проектирования организационных систем и на этапе создания новой системы обеспечивает реализацию того аспекта управленческой деятельности, который отображается глаголом *организация*.

Контур из блоков 2 - 5, 7 обеспечивает реализацию аспекта управленческой деятельности, который называется *совершенствование управления*. В этом контуре через блок коррекции 7 обеспечивается внесение таких изменений в дерево функций и в структуру системы, которые обеспечивали бы наилучшее соответствие показателей эффективности системы (производительность, себестоимость продукции, показатели качества, надежности и т. п.) тем требованиям, которые предъявляются ей метасистемой и внешней средой. Через блок коррекции 6 цепь блоков 1 - 5 замыкается в контур, назначением которого является внесение изменений в набор целевых назначений в тех ситуациях, когда выявляется, что вследствие изменения воздействий внешней среды или управляющих воздействий метасистемы скорректированный набор целевых назначений будет лучше способствовать достижению глобальной цели. Этот контур обеспечивает реализацию аспекта управленческой деятельности, называемого *управление развитием*.

Итак, три контура: "организация", "совершенствование управления", "управление развитием" обеспечивают создание организационной системы и поддержание ее в состоянии, обеспечивающем высокую эффективность функционирования управляемой системы. Система действует как некоторый производственный механизм, предназначенный для переработки, поступающих из метасистемы и внешней среды

(“импорт”) и накопленных в результате собственной деятельности ресурсов, в конечный продукт, который затем распределяется по трем основным каналам. Часть конечного продукта идет на внутреннее потребление, часть - на расширенное воспроизводство (развитие системы) и часть на “экспорт”. Таким образом, указанные три контура в своей совокупности образуют один главный контур - “Управление эффективностью функционирования организационной системы и ее развитием”.

Второй главный контур - “управление производством конечного продукта” формируется из блоков 3, 4, 8 - 12. Целевые показатели для этого контура определяются главной этапной целью, которая формируется, исходя из глобальной цели, на определенный период времени (на месяц, на квартал, на год). На основе главной этапной цели строится дерево целевых заданий и, в соответствии с этим деревом осуществляется распределение плановых заданий по элементам структуры и распределение ресурсов, обеспечивающих выполнение этих заданий. Таким образом, цепь блоков 3, 8 - 10 обеспечивает аспект управленческой деятельности, называемый *планирование*.

Показатели выпуска управляемой системой конечного продукта по объему, срокам, номенклатуре, качеству и т. п. сравниваются с плановыми заданиями (блок 10) и при наличии расхождения через блок 12 осуществляется коррекция распределения ресурсов и заданий по элементам системы. Таким образом, замыкается контур, обеспечивающий реализацию аспекта управленческой деятельности, называемого *оперативное управление*.

6.3 Матричная схема управления

При разработке конкретной организационной структуры, предназначенной для реализации функций всех контуров управления, рассмотренных в предыдущем разделе, можно разделить все задачи управления на две подгруппы: *струк-*

турные и функциональные. В структурную подгруппу выделяется некоторое подмножество структурных элементов организационной системы и структурное управляющее подразделение, которое обеспечивает руководство над выделенным ограниченным подмножеством структурных элементов по всем функциям управления. Функциональное управляющее подразделение обеспечивает руководство по всем структурным элементам, входящим в состав подсистемы, но по ограниченному подмножеству закрепленных за ним функций управления.

В качестве примера на рис. 6.4. приведен упрощенный фрагмент системы управления крупной производственной компании. Представленная на рис. 6.4. схема управления называется матричной. Все руководящие органы компании при такой структуре разделяются на линейные и функциональные.



Рис. 6.4 Фрагмент матричной структуры управления организацией

Линейные органы управления осуществляют руководство по всем аспектам деятельности, но только по ограниченному набору подведомственных им подразделений компании. Функциональные органы управления осуществляют руководство над всеми структурными подразделениями компании, но по ограниченному набору закрепленных за ними функций. На рис. 6.4. линейными органами управления яв-

ляются органы руководства по различным направлениями производства, а также руководство различными структурными подразделениями компании (филиалы, предприятия, производственные участки и т. п.)

Принципиальное различие между структурными и функциональными органами управления состоит в том, что только структурные органы наделены прерогативой наказания и поощрения, назначения и отстранения, перемещения и продвижения руководителей подведомственных им учреждений. Функциональные же органы этих прерогатив лишены и осуществляют только контроль за качеством выполнения определенных функций в подведомственных им учреждениях. Если же это качество, по их заключению, является неудовлетворительным, то функциональные органы делают представление соответствующим вышестоящим органам для принятия необходимых административных санкций.

Рассмотренная матричная схема управления является весьма универсальной и имеет всеобщее распространение на всех уровнях управления. При расширении масштабов организационной системы матричная схема расширяется, становится более сложной за счет того, что отдельные органы управления при увеличении масштабов их деятельности сами приобретают иерархическую структуру.

Сохраняется характер схемы и при уменьшении масштабов до уровня отдельного учреждения. В этом случае масштабы управляющих органов существенно сжимаются, функции нескольких органов выполняются одним подразделением, а то и просто отдельным лицом. Так, функции структурных органов управления будут выполнять руководители отделений, а в качестве функциональных органов могут действовать заместители руководителя учреждения. Что же касается таких функциональных органов как отдел кадров и планово-финансовый (бухгалтерия), то они сохраняются, как правило, в виде подразделений или групп даже в достаточно малых учреждениях.

Матричная схема управления не противоречит основным принципам идеальной иерархии, поскольку дополнительные функциональные связи не являются горизонтальными связями на одном уровне. Обычно обе совокупности органов управления - структурные и функциональные - в развитых системах имеют иерархическую структуру. При этом каждому уровню в иерархии структурных элементов соответствует определенный уровень в иерархии функциональных элементов. Например, в структуре правоохранительных органов областному управлению внутренних дел (структурный элемент) соответствует областная прокуратура (функциональный элемент). На уровне района действуют райотдел УВД и прокурор района. Таким образом, в большинстве случаев, организационная структура системы является многомерной.

Приведенная на рис. 6.4. матричная схема управления показана фрагментарно не просто ради упрощения рисунка, а и вследствие того, что полностью отобразить в графическом виде структурную схему управления достаточно развитой организационной системы практически невозможно из-за ее многомерности. Многомерность функций управления - это понятие, вводимое с целью отображения того факта, что определенные подмножества аспектов управления в организационных системах находятся в ортогональной позиции по отношению друг к другу, то есть каждый из элементов одного из подмножеств аспектов управления соотносится определенным образом с каждым из элементов остальных подмножеств.

Так, ортогонально по отношению к двум главным контурам управления, показанным на рис. 6.2., (“Управление развитием” и “Управление производством конечного продукта”) осуществляется управление в трех стадиях: долгосрочное планирование, текущее планирование, оперативное управление. В каждом из контуров и на каждой стадии управление осуществляется по трем объектам управления:

управление целями, управление ресурсами, управление структурами и т. д. Поэтому в большинстве случаев графическое представление организационной структуры, которое имеется во многих организациях, неизбежно является фрагментарным и отображает далеко не все взаимосвязи в системе.

6.4 Взаимосвязи целей и функций в организационной системе

В режиме мотивационного управления основным объектом управления являются цели, задаваемые управляемым объектам. Обычно организационная система, так же как любая техническая система автоматического управления (САУ), создается для обеспечения достижения некой цели, задаваемой извне (метасистемой). Метасистема, задавая цель, обеспечивает при этом и функционирование управляемой (подведомственной) системой, предоставляя ей необходимые для этого ресурсы. Однако отношения между метасистемой и САУ и отношения между метасистемой и организационной системой различны.

По отношению к САУ метасистема берет на себя весь комплекс проблем по ее жизнеобеспечению: бесперебойную подачу всех ресурсов, постоянное техническое обслуживание (регулировка, замена неисправных элементов) и адекватную защиту от воздействия окружающей среды. Как только из жизнеобеспечивающего комплекса выпадет хотя бы один существенный элемент, САУ попросту выключится и будет пребывать в бездействии произвольно долгое время, не “делая” при этом никаких самостоятельных попыток “включиться” в работу.

Организационная система, естественно, “выключиться” не может. Будучи однажды созданной, система “живет” и развивается дальше как автономный живой организм, получая от метасистемы только определенную часть необходимых для достижения поставленной цели ресурсов. Так, в

условиях развала экономики страны такая “некоммерческие” организации и сферы деятельности как система образования, наука, здравоохранение, культура, получающие от метасистемы (государства) лишь небольшую часть средств, необходимых для удовлетворительного существования, не говоря уж о развитии, не прекращают функционирования, а продолжают жить, изыскивая собственные средства и методы обеспечения жизнедеятельности.

Весь цикл мероприятий по жизнеобеспечению организационная система осуществляет, в основном, самостоятельно, расходуя на это как часть ресурсов, получаемых от метасистемы, так и ресурсы, создаваемые внутри самой организационной системы. Таким образом, если у САУ имеется только одна цель (набор целей), задаваемая метасистемой, то у организационной системы появляется собственная глобальная цель - жизнеобеспечение, которая подразделяется на два набора целей: цели, задаваемые существенной средой, и цели собственного развития. Это обстоятельство и учтено в структурной модели, представленной на рис. 6.1., где показано, что на вход организационной системы задаются три набора целей.

Указанные три набора целей являются противоречивыми, поскольку целям, задаваемым метасистемой, соответствует максимизация выхода, поступающего от системы в метасистему, при минимизации представляемых системе ресурсов, а собственным целям системы соответствует обратное отношение: максимизация объема получаемых ресурсов при заданном значении выходного потока в метасистему. Такое же противоречие существует между целями, задаваемыми существенной средой и собственными целями системы и т. п. Следует подчеркнуть, что указанные противоречия являются постоянно существующими и принципиально неустраняемыми. Кроме того, отдельные части организационной системы, в свою очередь, развиваясь, могут вступать в

противоречивые отношения друг с другом и с системой в целом.

Указанная противоречивость целей может стать антагонистической, если не созданы условия, при которых взаимодействующие системы заинтересованы во взаимном развитии и не антагонистической. Последнее имеет место в том случае, когда несколько систем, объединяемых метасистемой, получают от внешней среды существенно больше того, что имела бы каждая система, действуя автономно. И хотя при этом заметная часть благ от каждой из систем направляется в метасистему, однако, если остающаяся часть больше той, которую система могла для себя обеспечить в автономном режиме, сложившаяся кооперация остается достаточно прочной. Однако построение такой структуры, при которой функционирование метасистемы является гарантом развития входящих в ее состав систем и, в то же время, обеспечивает полностью ее собственное развитие, является чрезвычайно сложной проблемой в силу рассмотренной выше противоречивости целей.

Одним из важных направлений согласования противоречивых целей является постоянное совершенствование декомпозиции целевых показателей, задаваемых на разных иерархических уровнях системы. Обычно такая декомпозиция связана с преобразованием самой природы показателей, поступающих на вход системы. Обусловлено это необходимостью конкретизации заданий и тем обстоятельством, что для элементов, выполняющих разнородные функции, целевые показатели должны задаваться в терминах элементов измерения (регистрации) состояния управляемых объектов. При этом необходимо постоянно учитывать указанное выше свойство любой управляемой подсистемы стремиться к тому, чтобы целевые показатели, задаваемые вышестоящей системой, достигались при минимальных затратах собственных усилий и ресурсов.

Так, например, высокое значение задаваемого в здравоохранении показателя “работа койки” достигалось, зачастую, искусственно. Например, путем задержки выписки больных, путем заполнения коек хроническими больными с заболеваниями, не поддающимися воздействию активного лечения и т. п. На государственных транспортных предприятиях высокое значение показателя нагрузки, задаваемого в тонно-километрах, достигалось за счет неоправданного предпочтения клиентов, заказывающих наиболее дальние перевозки. На государственных металлургических предприятиях задание показателя выпуска металлических конструкций в тоннах приводило к резкому сокращению выпуска более трудоемких, но имеющих незначительный вес конструкций и т. д. и т. п.

В связи с этим возникают вопросы, существует ли обобщенный критерий организованности системы и может ли быть разработан такой набор целевых показателей (нормативов) для управляемых подсистем, при котором функционирование системы в целом было бы оптимальным. Иными словами, можно ли, в принципе построить “идеальную” структуру управления? В теории ответы на эти вопросы звучат утвердительно.

6.5 Обобщенный критерий организованности системы

В общем случае цель любой организационной системы - максимизировать объем своего выпуска G и минимизировать общие потери L . Стремясь к достижению цели, системы выбирает (пытается выбрать) значения управляемых переменных X и Y , которые максимизировали бы величину $G - L$. Таким образом, целевую функцию системы можно представить в виде

$$[MAX]F = \max_{x,y}(G - L)$$

Допустим, полезный выход G является функцией одной группы переменных X : $G = f_1(X)$, а потери L зависят только от Y : $L = f_2(Y)$, тогда

$$F = \max_{X,Y} [f_1(X) - f_2(Y)]$$

Но если выход и потери независимы, то

$$\max_{X,Y} [f_1(X) - f_2(Y)] = \max_X [f_1(X)] - \min_Y [f_2(Y)].$$

В этом случае одной управляющей подгруппе можно поручить максимизацию $f_1(X)$, а другой - минимизацию $f_2(Y)$ и все будет в порядке. Но так, к сожалению, не бывает. Обычно каждый из показателей G и L являются функциями обеих управляющих переменных X и Y .

$$G = f_1(X, Y); \quad L = f_2(X, Y).$$

Если принять предложенное разделение функций управления, то эффективность управления окажется пониженной из-за следующего обстоятельства. Для подавляющего большинства функций (f_1 и f_2), зависящих от одних и тех же переменных, выполняется следующее неравенство:

$$\max_{X,Y} [f_1(X, Y) - f_2(X, Y)] \neq \max_X [f_1(X, Y)] - \min_Y [f_2(X, Y)].$$

И обычно при этом выполняется соотношение

$$\max_{X,Y} [f_1(X, Y) - f_2(X, Y)] - \left\{ \max_X [f_1(X, Y)] - \min_Y [f_2(X, Y)] \right\} = k \geq 0.$$

Значение разности k между наилучшими показателями организации, достижимыми при совместной оптимизации, и теми, которые достигаются при заданном распределении труда (установленной организационной структуре), и представляет меру неэффективности организационной структуры. Этот показатель можно обобщить на случай любого числа управляемых переменных, а также для любых подцелевых функций, включающих не только управляемые, но и неуправляемые переменные.

Можно показать, что организационные формы, приближающиеся к совместной оптимизации (интегрированные системы), увеличивают диапазон выбора для всех лиц, ответственных за выполнение тех или иных функций. Иными словами, они увеличивают разнообразие выбора и приближают режим управления к мотивационному. Изменение организационных форм в обратном направлении (по пути возрастающей дифференцированности функций управления) эффективно уменьшает разнообразие выбора и приближает режим управления к командному.

Возрастающие масштабы применения математических методов и вычислительной техники в управлении организационными системами, внедрение систем поддержки управленческих решений и автоматизированных систем управления на первом этапе внедрения призваны остановить процесс дальнейшего разделения управленческих функций, процесс уменьшения разнообразия выбора. На последующих этапах развития неотвратно должна происходить интеграция сложившихся узкофункциональных подразделений и “узкоспециализированных” функционеров в многофункциональные группы с большим разнообразием выбора.

Подход к оценке общей неэффективности организационной структуры, описанный выше, может быть использован также для дифференцированной оценки степени неэффективности системы, обусловленных плохим информационным общением или низким уровнем качества принимаемых решений. Рассмотрим вначале влияние плохого общения на следующем условном примере. Подгруппа **A**, управляющая переменной **X**, получает данные от подгруппы **B** о выбранном этой подгруппой значении переменной **Y**, а подгруппа **B** получает от подгруппы **A** информацию о выбранном значении **X**. Предположим, что обе подгруппы из-за неэффективной системы обмена информацией получают запрашиваемые данные с искажениями, так, что подгруппа **A** убеждена в том,

что подгруппа **B** использует значение $y \neq Y$, а подгруппа **B** убеждена в том, что используется значение $x \neq X$.

Тогда деятельность обеих подгрупп будет направлена на достижение следующих результатов:

$$\max_X [f_1(X, y)] \quad \text{и} \quad \min_Y [f_2(x, Y)].$$

Разность

$$E_{\text{inf}} = \left\{ \max_X [f_1(X, Y)] - \min_Y [f_2(X, Y)] \right\} - \left\{ \max_X [f_1(X, y)] - \min_Y [f_2(x, Y)] \right\}$$

служит мерой неэффективности, обусловленной плохим общением. Величина этой неэффективности существенно зависит от вида функций f_1 и f_2 , то есть от организационной структуры. Это приводит к тому, что некоторые организации более чувствительны к плохому общению, чем другие, из-за особенностей их организационной структуры. В рассмотренном упрощенном примере совместный вклад неоптимальной структуры и плохого общения в организационную неэффективность можно измерить разностью

$$E_{\Sigma} = \max_{X, Y} [f_1(X, Y) - f_2(X, Y)] - \left\{ \max_X [f_1(X, y)] - \min_Y [f_2(x, Y)] \right\}$$

Допустим, наконец, что подгруппы неверно максимизируют (минимизируют) свои целевые функции. Обозначим достигаемые ими значения через $\max^*$ и $\min^*$, тогда разность

$$E_{\text{des}} = \left\{ \max_X [f_1(X, Y)] - \min_Y [f_2(X, Y)] \right\} - \left\{ \max_X^* [f_1(X, Y)] - \min_Y^* [f_2(X, Y)] \right\}$$

представляет собой показатель неэффективности в принятии решений.

Как видно и приведенного выше соотношения, этот показатель также зависит от свойств математических функций f_1 и f_2 и от структуры системы. Фактически при наличии структурной неэффективности плохое общение и низкий уровень принятия решений могут в определенных условиях компенсировать друг друга. В качестве иллюстрации рассмотрим искусственный пример, предложенный Р. Акоффом.

Рассматривается ситуация, когда одна из управляющих подгрупп (отдел снабжения) управляет переменной X - объем закупок исходного сырья и несет ответственность только за его излишки, оставшиеся на складе. Поэтому ее целевая задача состоит в минимизации значения переменной X до величины, строго необходимой для обеспечения установленного выпуска. Вторая подгруппа (отдел сбыта) управляет переменной Y - цена выпускаемого продукта и несет ответственность за прибыль. Поэтому ее целевая функция состоит в максимизации цены (переменной Y) до значения, при котором возможна полная распродажа выпущенного продукта. Обе подгруппы при принятии решения руководствуются оценками возможного объема сбыта в зависимости от назначенной цены.

Оценки берутся на основе обработанных статистических данных, представленных на рис. 6.5., где показаны оптимистическая, пессимистическая и консервативная оценки. Процесс начинается с того, что отдел сбыта назначает цену Y_1 и, в соответствии с прогнозом распродаж, полученным на основе оптимистической оценки, заказывает объем закупок сырья X_1 , необходимый для обеспечения планируе-

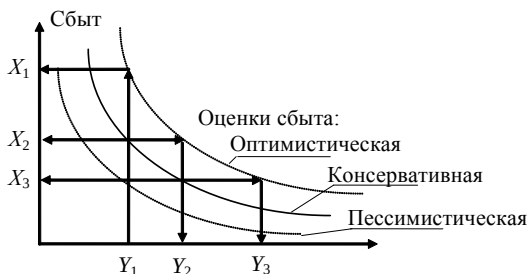


Рис. 6.5. Процесс коллапса из-за “избыточного” общения

мого выпуска. Однако, отдел снабжения, узнав назначенное значение цены на основе консервативной оценки, приходит к меньшему значению прогнозируемого сбыта при заданной цене Y_1 и, для того чтобы не иметь на складе излишков сырья, устанавливает новый объем закупок - X_2 .

Теперь отдел сбыта, узнав, что объем закупок сырья уменьшен до величины X_2 , считает, что уменьшенный объем выпуска может быть распродан по повышенной цене и на основе оптимистической оценки устанавливает новую цену - Y_2 . Отдел снабжения, узнав о новой назначенной цене Y_2 , опять уменьшает в соответствии с консервативной оценкой объем закупок сырья до величины X_3 . Если не прервать этот цикл взаимного обмена принимаемыми решениями, то система быстро может быть доведена до полного коллапса.

Разумным выходом в этой ситуации является разрыв информационного обмена между отделами и перевод их в такие условия, при которых они будут принимать решения автономно без “оглядки” на решения другого отдела. Таким образом, устойчивость системы в данном случае достигается за счет снижения эффективности информационного обмена. Подобная парадоксальная ситуация не рассматривается в работах, посвященных информационным технологиям. Обычно считается, что чем более развит механизм информационного общения, тем более эффективно функционирует система управления. Но это справедливо лишь при условии, что уровень подсистем поддержки управленческих решений достаточно высок.

Несмотря на надуманность приведенного выше примера, он наглядно иллюстрирует одно важное положение - оптимизация средств и методов информационных технологий в организационной системе должна проводиться только комплексно, при условии тщательной системной оценки эффективности каждого из предлагаемых аспектов оптимизации. Автономная же оптимизация по отдельным аспектам (скажем, повышение эффективности информационного обмена)

может не только оказаться бесполезной, но и в ряде случаев может привести к негативным последствиям.

6.6 Понятие об идеальной организационной структуре

Рассмотренные выше подходы к оценке неэффективности организационной структуры обусловленной разными факторами (неэффективным вариантом распределения функций управления, плохим информационным обеспечением, низким качеством принимаемых решений) наводят на вопрос: - а возможно ли, в принципе, создать идеальную организационную структуру, то есть структуру, обеспечивающую оптимальное распределение функций управления? Теория на этот вопрос отвечает утвердительно и на приводимом ниже искусственном примере можно показать вариант построения идеальной организационной структуре, функционирование которой базируется на оптимальной системе нормативов.

Пусть некоторое производство (монопольное) имеет возможность манипулировать ценой продукции, изменяя интенсивность ее выпуска. Введем следующие обозначения:

S - интенсивность продажи;

$p(S) = \alpha - \beta S$ - функция цены (зависимость от интенсивности предложения на продажу);

α и β параметры, такие, что $\alpha > 0$; $\beta > 0$;

$k(R) = d - bP$ - себестоимость продукции;

P - интенсивность выпуска;

$d > 0$, $b > 0$ - параметры.

Примем, что необходимые капиталовложения определяются соотношением

$$\gamma \bar{I} = \left(I_0 + P + \frac{S}{2} \right) \gamma ,$$

где I_0 - начальные капиталовложения. Тогда чистая прибыль за период будет определяться значением $J(P, S)$, определяемым из соотношения

$$J(P, S) = (\alpha - \beta S)S - (d - bP)P - \left(I_0 + P - \frac{S}{2} \right) \gamma .$$

Здесь управляемыми переменными, значения которых надлежит оптимизировать, являются величины P и S . При наличии единого управляющего Центра оптимальные значения параметров S^* и P^* , полученные из приведенного выше соотношения, очевидно, имеют значения

$$S^* = (2\alpha + \gamma) / 4\beta ; \quad P^* = (d + \gamma) / 2b .$$

Теперь представим, что вследствие большого объема управляющий Центр решено разделить на две подгруппы и на каждую из них возложить управление одной переменной. Для этого, очевидно, надо разложить целевую функцию $[MAX]J(P, S)$ на две “подцелевых» функции, управление которыми возлагается на две подгруппы. На первый взгляд, задача решается просто: надо “расщепить” функцию $J(P, S)$ на две функции, каждая из которых зависела бы (по возможности) только от одной переменной и поручить управление этими функциями, соответственно, по одной на группу. Математически это сделать несложно и в результате получатся две целевых функции

$$\begin{aligned} [MAX]F_1(S) &= (\alpha - \beta S)S + \gamma \frac{S}{2} ; \\ [MIN]F_2(P) &= -(d - bP)P - \gamma(I_0 + P) . \end{aligned}$$

При этом $F_1(S) + F_2(P) = J(S, P)$.

Однако в каждой из этих функций содержатся переменные γ и I_0 , не имеющие отношения к производству или к сбыту. Таким образом, при подобной децентрализации управления появились “безхозные” параметры, что, к сожа-

лению, является неизбежным следствием любой децентрализации. Но допустим, что отделу производства и отделу сбыта установлены иные целевые функции, а именно:

$$\begin{aligned} [MAX] J_1(S) &= (\alpha^* - \beta^* S) S ; \\ [MIN] J_2(P) &= (d^* - b^* P) P \end{aligned}$$

и двум подгруппам поручено оптимизировать их автономно. Тогда в результате правильной оптимизации группами будут найдены следующие значения:

$$S_{opt} = \alpha^* / 2\beta^* ; \quad P_{opt} = d^* / 2b^* .$$

Если теперь *аналитический* центр определит в качестве *нормативных* следующие значения параметров:

$$\alpha^* = \frac{2\alpha + \gamma}{2} ; \quad \beta^* = \beta ; \quad b^* = b ; \quad d^* = d + \gamma ,$$

то результат *автономной* оптимизации будет идентичен результату “*интегральной*” оптимизации. Этот пример показывает наличие принципиальной возможности создания оптимальной организационной структуры за счет использования *оптимальной системы нормативов*. При этом подходе целевые функции являются “естественными” для определенной категории деятельности, но параметры, используемые в целевых функциях в качестве нормативных, являются не “натуральными”, а приведенными”.

Второй подход к созданию оптимальной организационной структуры заключается в следующем. Заменим третий член в интегральной целевой функции системой ограничений, а именно, введем дополнительные условия оптимизации в виде:

$$\begin{aligned} \phi_1(S) &= 0 ; \quad \text{и} \quad \phi_2(P) = 0 , \quad \text{где} \\ \phi_1(S) &= \gamma \frac{S}{2} - k_1 ; \quad \phi_2(P) = (I_0 + P)\gamma - k_2 , \end{aligned}$$

где k_1 и k_2 - не фиксированные параметры.

Пусть теперь этим параметрам заданы значения

$$k_1^* = \gamma(2\alpha + \gamma) / 8\beta ; \quad k_2^* = \gamma I_0 + \gamma(d + 2\gamma) / 2b ,$$

а руководителям отдела производства и отдела сбыта делегированы полномочия по обеспечению решения следующих оптимизационных задач:

$$[MAX] J_1(S) = (\alpha - \beta S)S \quad \text{при условии} \quad \gamma \frac{S}{2} = k_1^* ;$$

$$[MIN] J_2(P) = (-d + bP)P \quad \text{при условии} \quad (I_0 + P)\gamma = k_2^* .$$

Тогда не координируемая оптимизация приведет к решениям

$$S_{opt} = (2\beta + \gamma) / 4\beta ; \quad P_{opt} = (d + \gamma) / 2b ,$$

то есть к тем самым результатам, что и при интегрированной оптимизации.

Таким образом, построение совокупности эффективных математических моделей может обеспечить реальную основу создания, если не вполне оптимальной, но достаточно оптимизированной организационной структуры. Однако необходимым предварительным условием для построения математических моделей является создание адекватных кибернетических моделей, содержательно описывающих как основные компоненты организационной системы, так и всю систему в целом.

6.7 Кибернетические модели систем управления в организациях

По определению, приведенному в Советском Энциклопедическом словаре (Москва, 1985), основным объектом исследования кибернетики являются ...”так называемые кибернетические системы, рассматриваемые абстрактно, вне зависимости от их материальной природы. Примеры кибернетических систем - автоматические регуляторы в технике, ЭВМ,

человеческий мозг, биологическая популяция, человеческое общество. Каждая такая система представляет собой множество взаимосвязанных объектов (элементов системы), способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею". В соответствии с этим определением

кибернетической моделью системы является мысленный или материальный объект, отображающий в словесном, письменном, графическом виде или в виде математических соотношений или в виде физического объекта, совокупность основных информационных потоков в моделируемой системе, взаимосвязь этих потоков, а также реакцию отдельных блоков и всей системы в целом на поступающие на ее вход воздействия.

Одним из наиболее распространенных видов кибернетических моделей является блок-схема. Наиболее содержательный характер имеют блок-схемы, используемые для модельного отображения систем автоматического управления (САУ). В данном разделе мы рассмотрим кратко основные принципы методологии их использования при анализе САУ с тем, чтобы на этом примере выделить те аспекты этой весьма развитой методологии, которые могут быть использованы для анализа организационных систем.

Основным элементом блок-схемы САУ является отдельный блок с обозначенной на нем передаточной функцией, как это показано на рис. 6.6. В соответствии с принятой в теории САУ методологией изображение на рис. 6.6. эквивалентно записи математической формулы, имеющей следующий вид

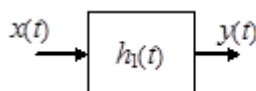


Рис. 6.6. Стандартный элемент блок - схемы САУ

$$y(t) = \int_0^t x(t - \tau) h_1(\tau) d\tau.$$

Эта запись означает, что если на вход блока поступает воздействие в виде функции $f(x)$, то форму выходного сигнала системы можно определить в соответствии с приведенным выше соотношением, называемым интегральной сверткой передаточной функции блока $h_1(t)$ и функции входного воздействия $x(t)$. Для упрощения вычислений, связанных с определением функций вида интегрально свертки, в теории САР, так же как в теоретической электротехнике, теоретической радиотехнике, теории импульсных систем и во многих других областях, связанных с анализом динамического поведения систем, широко используется математический аппарат преобразования Лапласа.

Сущность практического применения этого преобразования состоит в том, что при анализе систем оперируют не с исходными временными функциями $f(t)$, а с их преобразованиями по Лапласу, которые называются изображениями по Лапласу, или просто *изображениями* $f(p)$, где p - оператор Лапласа. При этом функции $f(t)$, называемые *оригиналами* и их изображения $f(p)$ связаны между собой двумя преобразованиями

$$f(p) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-pt} f(t) dt \quad - \text{ прямое преобразование}$$

Лапласа;

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{s-j\infty}^{s+j\infty} e^{pt} f(p) dp \quad - \text{ обратное преобразование Лапласа.}$$

При использовании преобразования Лапласа существенно упрощается анализ сложных систем. Достигается это упрощение за счет того, что операция дифференцирования в области оригиналов отображается в области изображений умножением на оператор p , а операция интегрирования - умножением на оператор $1/p$. Таким образом

$$L\left\{\frac{df(t)}{dt}\right\} = pf(p) \qquad L\left\{\int_0^t f(\tau) d\tau\right\} = \frac{1}{p} f(p)$$

Благодаря этому, сложные интегро-дифференциальные уравнения в области оригиналов преобразуются в относительно простые алгебраические соотношения в области изображений, а операция интегральной свертки двух функций преобразуется в алгебраическое произведение их изображений, то есть

$$L\left\{\int_0^t x(t-\tau)h_1(\tau)d\tau\right\} = x(p)h_1(p)$$

Указанные свойства изображений позволяют сводить сложные блок-схемы к более компактным. При этом используется простое правило: изображение общей передаточной функции последовательно соединенных блоков есть произведение передаточных функций этих блоков, а при параллельном соединении - их сумма. Таким образом, блок схемы, изображенная слева на рис. 6.7. может быть отображена одним блоком с передаточной функцией $h_{\Sigma}(p)$. При этом имеет место равенство

$$h_{\Sigma}(p) = h_1(p)h_2(p) + h_3(p)$$

Конечной целью анализа систем в теории САУ является получение переходной характеристики системы $H(t)$, которая в области оригиналов отображает характер выходного сигнала системы (отклика системы) при подаче на ее вход воздействия в виде единичного прямоугольного импульса бесконечной длины.

В области изображений переходная характеристика $H(p)$ определяется как

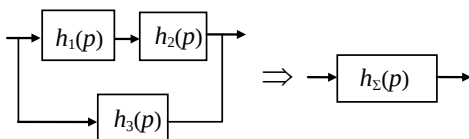


Рис. 6.7. Эквивалентное преобразование блок - схем

произведение передаточной функции на оператор $1/p$. Так, для системы, изображенной на рис. 6.7., переходная характеристика будет определяться выражением

$$H_{\Sigma}(p) = p^{-1}[h_1(p)h_2(p) + h_3(p)] = p^{-1}h_{\Sigma}(p)$$

По найденному изображению переходной характеристики определяется временная функция $H_{\Sigma}(t)$

$$H_{\Sigma}(p) = p^{-1}[h_1(p)h_2(p) + h_3(p)] = p^{-1}h_{\Sigma}(p)$$

Переходная характеристика (отклик системы на воздействие прямоугольного импульса единичной амплитуды) несет в себе информацию обо всех важнейших свойствах системы. Примерный вид переходной характеристики представлен на рис. 6.8. Установившееся значение переходной характеристики определяет величину коэффициента усиления (величина K), от которого зависит статическая ошибка системы. Отрезок времени, за который функция $H(t)$ достигает значения $0,9K$, называется временем установления $t_{уст}$. Величина времени установления характеризует кинетическую ошибку системы. Типичной проблемой при проектировании системы является уменьшение времени установления до нормативно заданного значения.

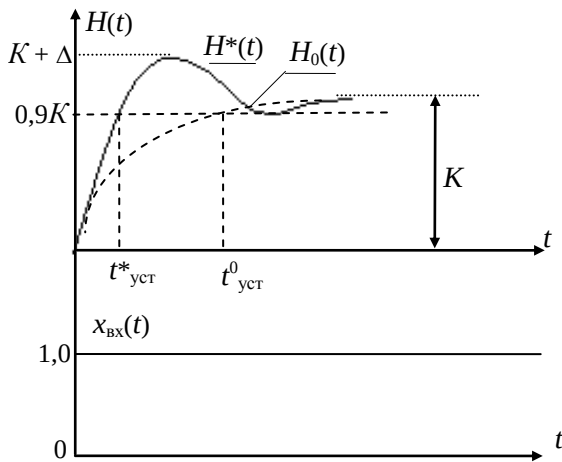


Рис. 6.8. Типичный вид переходной характеристики САУ

Нормативно заданное значение времени установления достигается включением специальных дифференцирующих звеньев в цепи обратной связи системы. На рис. 6.8. показан пример того, как с помощью включения корректирующих звеньев время установления может быть уменьшено от значения $t_{уст}^0$ до значения $t_{уст}^*$. Однако при такой коррекции может возникнуть перерегулирование и в переходной характеристике появляется выброс, величина которого Δ характеризует величину динамической ошибки. Если перерегулирование велико, то при замыкании обратной связи система может оказаться неустойчивой и перейти в режим возбуждения. В итоге, при проектировании приходится выбирать компромиссное решение, касающееся значений кинетической и динамической ошибок, обеспечивая при этом достаточный запас устойчивости.

На практике, при анализе и синтезе систем с помощью описанной методики определения переходной характеристики с помощью блок-схем и применения преобразования Лапласа прямое и обратное преобразование не используется. Вместо этого применяются хорошо разработанные таблицы соответствия между временными функциями (оригиналами) и их изображениями по Лапласу. Исходные математические соотношения, описывающие элементы и блоки исследуемой системы, составляют в таком виде, чтобы они соответствовали имеющимся табличным значениям и переходят по таблицам к их изображениям. Далее, проводя необходимые алгебраические преобразования в соответствии с блок-схемой системы (передаточные функции последовательно соединенных звеньев перемножаются, а соединенных параллельно - складываются). Результирующую передаточную функцию умножают на оператор $1/p$ и получают изображение результирующей переходной характеристики $H_{\Sigma}(p)$.

Приведя это изображение к табличному виду (чаще всего к отношению двух многочленов от p), находят по табли-

цам оригинал переходной характеристики и, в зависимости от результата, заканчивают анализ, либо делают попытки улучшить характеристики системы за счет введения корректирующих звеньев. При этом преобразование в область оригиналов и графическое построение самой переходной характеристики необязательно. Существуют довольно эффективные методики анализа характеристик системы непосредственно по виду изображения переходной характеристики.

Описанная процедура является эффективным средством проектирования систем, обладающих заданными характеристиками. И, чтобы иметь возможность использования этой процедуры, необходимо, в общем случае, иметь три специализированных языка, используемых на разных уровнях:

1) *U* - язык. Это язык пользователя, на котором записываются нормативные требования, предъявляемые пользователем к параметрам системы.

2) *H* - язык. На этом языке требования к параметрам системы трансформируются в требования к описывающим ее измеряемым параметрам, например, к параметрам переходной характеристики (время установления, коэффициент усиления и т. п.).

3) *O* - язык. Язык объектных модулей, на котором требования к параметрам переходной характеристики трансформируются в требования к техническим параметрам элементной базы.

Применение этих языков можно проиллюстрировать на наглядном примере проектирования выходного блока усиления для монитора. Естественным требованием пользователя к параметру монитора является хорошее качество изображения. Однако прилагательное “хорошее” является слишком неопределенным. Для определенности это требование надлежит конкретизировать. Этой конкретизации можно достигнуть, если на языке пользователя (*U* - язык) задать разрешение экрана, указав количество точек по горизонтали и

по вертикали. Аналогично, в количественном виде задается показатель контрастности.

Наличие количественных требований к разрешению и контрастности позволяет теперь на уровне ***H*** - языка установить количественные требования к параметрам переходной характеристики каскада. Требования по контрастности трансформируются в требования к минимально допустимому коэффициенту усиления, а требования по разрешению - в требования к максимально допустимому времени установления

$$K \geq K^N; \quad t_{ycm} \leq t_{ycm}^N.$$

Затем, когда требования к параметрам переходной характеристики полностью сформулированы, эти требования трансформируются на языке объектных модулей в заданные значения технических параметров элементной базы, на которой строится выходной каскад: номиналы резисторов, емкостей, индуктивностей, технические параметры транзисторов.

По завершению всей процедуры проектанты либо получают проект системы, полностью удовлетворяющей заданным требованиям, либо убедительное доказательство того, что на существующей элементной базе достичь заданных значений невозможно.

Поскольку на уровне структурных моделей между организационными системами и САР наблюдается довольно большое сходство, то представляется весьма заманчивой разработка методологии, позволяющей использовать весьма развитый аппарат проектирования САР для анализа и проектирования организационных систем.

Проведенное выше краткое рассмотрение существа процедур, применяемых при проектировании САР, позволяет сделать вывод, что основными этапами разработки соответствующей методологии для организационных систем должны явиться:

1) Разработка соответствующих языков на трех уровнях: языка пользователя (**У** - язык), языка функциональных характеристик (**Н** - язык) и языка объектных модулей (**О** - язык).

2) Развитие методологии кибернетического и математического моделирования основных элементов организационных систем, позволяющей получать описания этих элементов в виде соотношений, позволяющих использовать могучий аппарат преобразования Лапласа или иной, столь же эффективный метод.

3) Развитие методологии анализа и синтеза сложных систем, состоящих из множества блоков, взаимосвязь которых в организационных системах, как будет показано ниже, не всегда сводится к простым понятиям последовательного или параллельного соединений.

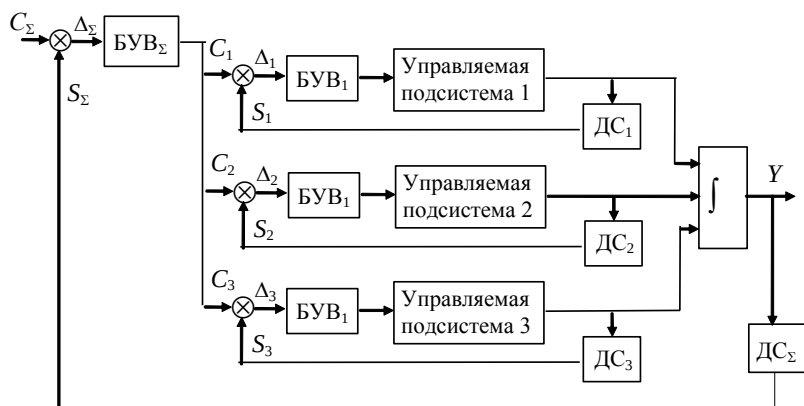


Рис. 6.9. Кибернетическая модель иерархической системы управления

В ряде случаев указанные этапы уже реализованы. Так, например, для такой сложной организационной системы, как *экстренная городская служба (скорая помощь, пожарная служба, служба газа)*, разработаны подходы к реализации все трех перечисленных выше этапов. Благодаря этому, проектные работы по созданию такой системы приводят именно

к тем результатам, которые указывались выше. То есть, проектиранты могут либо спроектировать систему, удовлетворяющую требованиям пользователя, сформулированным на уровне U - языка, либо получить убедительное доказательство невозможности достижения этих требований при заданной элементной базе и установленных ресурсных ограничениях.

Однако, в общем случае, на пути разработки необходимой методологии существуют пока неразрешенные (а может быть, в определенных аспектах, и неразрешимые) проблемы. Одна из таких проблем связана с иерархичностью организационных структур. Если построить кибернетическую модель организационной системы с двумя иерархическими уровнями, то она будет выглядеть так, как это показано на рис. 6.9.

На этом рисунке показано, что на нижнем уровне иерархии три управляемых подсистемы, каждая из которых представляет следящую систему, описанную в главе 2, работают на общий выход. На входе каждой i - й подсистемы задана цель C_i . Информация о состоянии подсистемы от датчика состояний ДС подается на блок сравнения, обозначенный символом $\otimes$. Рассогласование Δ_i поступает на блок управляющих воздействий БУВ, который вырабатывает и подает на управляемую подсистему такие воздействия, которые необходимы для того, чтобы величина рассогласования стремилась к нулю.

На верхнем уровне иерархии информация о состоянии интегрального выхода Y через датчик состояния ДС $_{\Sigma}$ также поступает на элемент сравнения. И если появляется рассогласование Δ_{Σ} между целью C_{Σ} , заданной на верхнем уровне, и состоянием интегрального выхода S_{Σ} , то это рассогласование поступает на блок управляющих воздействий БУВ $_{\Sigma}$, обеспечивающий такую коррекцию целей $C_1 - C_3$ для управляемых подсистем, благодаря которой величина рассогласования Δ_{Σ} стремится к нулю.

Такое управление имеет место в системе с идеальной иерархической структурой, в которой воздействия с верхнего уровня поступают только в виде коррекции целей, задаваемых для нижних уровней. При этом используется только мотивационный режим управления и верхние уровни не вмешиваются в структуру нижних уровней и не проводят перераспределения ресурсов. При анализе таких систем достаточно использовать понятия последовательного или параллельного соединения блоков, и они поддаются описанию методами, разработанными в теории САУ.

Однако на практике такие идеальные системы встречаются крайне редко. Обычно при управлении в организационных системах используются три механизма управления: управление целями, управление структурами и управление ресурсами. Причем наиболее часто используется управление ресурсами, гораздо реже - целями и еще реже - структурами. К сожалению, математические модели, адекватно отображающие процесс управления структурами или ресурсами, еще не разработаны. Поэтому возможность применения кибернетических моделей для анализа организационных систем управления пока ограничена.

Второе важное обстоятельство, существенно затрудняющее использование кибернетических методов и моделей, обусловлено значительными временными задержками в организационных системах и тем обстоятельством, что показатели качества (а часто и количества) их выходных величин бывают совершенно неопределенными. Возьмем, к примеру, систему школьного образования. Периодически в эту систему вносятся значительные изменения в программы и методы обучения, требующие больших материальных затрат и усилий. Например, введение единого государственного экзамена. Но результаты этих затрат проявятся только через десять - пятнадцать лет после проведения реорганизационных мероприятий, когда школьники, которых это коснулось, окончат школу, институты и приступят к работе.

Как и чем измерить достигнутый в этом случае результат? Ни количественных, ни качественных показателей для этого не существует. А если и найти такие показатели, то как доказать получены ли они благодаря, или вопреки мероприятиям, проводившимся полтора десятилетия назад.

Аналогичная ситуация имеет место при управлении различными технологическими процессами в химическом, кондитерском или еще каком-нибудь производстве, где нет возможности установить строгую детерминистическую связь между изменением значения какого-либо входного параметра и спродуцированным изменением параметра выходного продукта. Кроме того, бывает так, что это результирующее изменение нельзя однозначно отнести к улучшению или ухудшению качества. Например, потемнение или просветление, изменение одного из вкусовых показателей и т. п. Не говоря уже о том, что эти изменения могут появляться с большой задержкой во времени.

Итак, в тех случаях когда:

- причинно-следственная связь между входным воздействием и откликом системы не поддается математическому описанию;

- отклик системы появляется со значительной временной задержкой относительно момента поступления входного воздействия; характер отклика таков, что качество его не поддается четкой количественной оценке, то модельное представление исследуемой системы в виде следящей системы становится не конструктивным.

В принципе, в общем случае, относительно любой системы управления (объектом, процессом) можно сказать, что она содержит управляемую систему, датчик состояния, блок управляющих воздействий и элемент сравнения. То есть имеет всю совокупность элементов следящей системы, соединенных так, как это показано на рис. 2.14., и, следовательно, на концептуальном уровне может рассматриваться как следящая система. Но, не более того! Поскольку в силу

перечисленных выше особенностей становится невозможным применение математического аппарата, развитого для исследования следящих систем, то и модельное представление систем, характеризующихся этими особенностями в виде *следящих*, становится нецелесообразным.

Процесс управления в таких ситуациях носит нормативно ограничительный характер и осуществляется в рамках системы адаптивного управления, блок-схема которой представлена на рис. 6.10. В режиме адаптивного управления, когда неизвестны детерминистические функциональные соотношения между входным воздействием и изменением параметров конечного продукта управление осуществляется путем задания некоторого набора параметров “технологического” (в широком смысле) режима. При этом подразумевается,

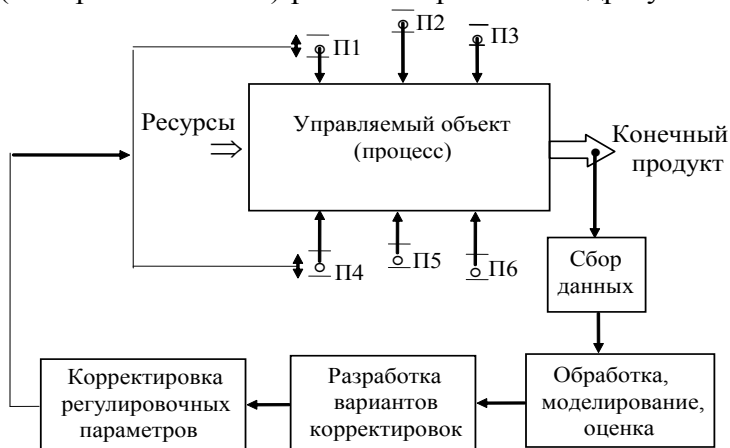


Рис. 6.10. Блок - схема адаптивной системы управления

что качественные и количественные показатели выпуска конечного продукта соответствуют требованиям, если эти “технологические” параметры поддерживаются в установленных нормативных пределах.

Для чисто технологических систем и процессов это могут быть такие, например, показатели как температура, давление, состав исходного сырья, время выдержки и т. п.

Для организационных систем эти параметры могут задаваться в виде показателей ресурсного обеспечения. Например, в здравоохранении использовался такой показатель как число больничных коек на душу населения, в народном образовании - число учителей и т. п. Ясно, что во многих случаях эти показатели весьма слабо отражают качество управляемого процесса, тем не менее, определенную информацию в себе несут.

В развитых системах адаптивного управления контур обратной связи содержит в себе все основные звенья, показанные на рис. 6.10. В этом контуре обеспечивается систематический сбор данных о состоянии системы и параметрах конечного продукта. Эти данные обрабатываются, производится их оценка на основе разработанных моделей и далее, в зависимости от полученных результатов разрабатываются варианты корректировки регулирующих параметров. На основе этих корректировок производятся необходимые изменения нормативных регулировочных параметров (параметры П1 - П6 на рис. 6.9.), а далее локальные системы управления обеспечивают поддержание этих параметров в новых установленных пределах.

Корректировки в значения регулирующих параметров вносятся и в том случае, если это диктуется изменившимися условиями и характером воздействия внешней среды. При этом могут вводиться не только количественные изменения в нормативные показатели, но и сам набор этих показателей может претерпевать существенные изменения. Благодаря этому системы адаптивного управления легко приспосабливаются к изменению требований внешней среды и из всех известных систем управления обладают наибольшей живучестью.

Установленные границы регулировочных параметров могут задаваться и не в конкретных количественных показателях, а в виде некоторых косвенных условий, что обеспечивает еще большую адаптивность системы к конкретным обстоятельствам. Известен, например, следующий опыт адаптивного регулирования срока пребывания больного в стационаре, использованный одной из областных психиатрических служб. В психиатрической службе (как впрочем, и во всякой другой) требования к продолжительности этого срока носят противоречивый характер. Так затягивание его приводит к низкой эффективности использования коечного фонда и негативно влияет на возможность психологической реабилитации пациента после выписки его из стационара. С другой стороны, неоправданное сокращение срока стационарного лечения повышает риск рецидива. Оптимальное же значение срока существенно зависит от конкретного пациента, условий и методики лечения и, поэтому, не может быть задано нормативно. Наилучший срок для выписки в каждом конкретном случае может определить только лечащий врач.

Но лечащий врач наиболее ответственно отнесется к выбору оптимального срока только при наличии серьезной мотивации для этой оптимизации. С учетом этого, в психиатрической службе были установлены премиальные показатели, стимулирующие врача к сокращению сроков лечения с целью повышения эффективности использования коечного фонда. Однако для предотвращения потери качества лечения были введены также и штрафные показатели на тот случай, если у выписанного этим врачом больного будет отмечен случай рецидива. При разумной регулировке уровня значимости (весомости) этих премиальных и штрафных показателей лечащий врач получает серьезную мотивацию к оптимизации сроков стационарного лечения, что приводит к повышению эффективности всей системы в целом.

Подавляющее большинство организационных систем имеют адаптивную систему управления, причем во многих

случаях эта система является не искусственно сконструированной, а является естественным продуктом развития в условиях жесткой конкуренции со стороны других систем, а также многолетнего опыта выживания в неблагоприятных условиях воздействия внешней среды. Наиболее наглядным примером такой “самосформированной” системы является рыночный механизм управления национальной экономикой, обеспечивающий такое ее равновесие, которое может быть названо “экономический гомеостаз”. Анализ действия этого механизма требует отдельного рассмотрения.

Литература

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: Учебное пособие / Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
2. Бескровный И.М. Интегрированная модель технологического процесса полупроводникового производства. - Научная конференция: Системный анализ и управление. -- URL: <http://www.econf.rae.ru/article/4875>. – 2009
3. Бескровный И. М., Моторин В. И., Чиликина З. Н. Методы и модели управления перспективным развитием хозяйственного НПО. – М.: Минрадиопром, ИПК руковод. раб-ков. – 1989. 131 с.
4. Бескровный И. М., Шихаев К. Н. Методы и модели управления отраслевым производством. – М.: Радио и связь, 1987. – 272 с.
5. Бескровный И. М. Системное моделирование технологических процессов микроэлектроники. Часть 1 – Постановка задачи. - Электронная техника, сер.3 «Микроэлектроника», вып.1 (155), 2003 г. 12 стр.
6. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Наука, 1983. – 334 с.
6. Клиланд Д. И., Кинг В. Р. Системный анализ и целевое управление. Пер. с англ. – М.: Сов. Радио, 1974. – 720 с.

7. Месарович М., Мако Д., Такахара М. Теория иерархических многоуровневых систем / М.: Мир, 1973. – 344 с.
8. Организационные структуры управления производством / Под общ. ред. Б. З. Мильнера. – М.: Экономика, 1975. – 319 с.
9. Сетров М. И. Основы функциональной теории организации. Философский очерк. – Л.: Наука, 1972. – 164 с.
10. Системный анализ и структуры управления / Под ред. В.Г. Шорина. – М.: Знание, 1975. – 303 с.

Глава 7 Модельное представление и анализ организационных систем методами теории автоматического управления

7.1 Введение

Вопросы совершенствования управления организационными системами, в состав которых как неотъемлемая часть входят человеческие коллективы, приобретают сейчас все большую актуальность. Целенаправленное воздействие на такие системы существенно усложняется присутствием в них людей, участвующих, как в процессе производства, так и в процессе управления. Люди, одаренные сознанием, стремящиеся к определенным личным целям, которые далеко не всегда совпадают с целями организации, и поступающие обдуманно или под влиянием страсти. Итак, организационная система характеризуется, в первую очередь, наличием цели и существованием замкнутого контура управления, который обеспечивает достижение системой стоящих перед ней целей. Если нас интересуют только характеристики этого контура, то вместо общего термина «организационная система»

можно пользоваться более узким — «организационная система управления» (ОСУ).

При анализе наиболее общих характеристик ОСУ выявляется аналогия между структурами этих систем и систем автоматического управления. Действительно, во всех ОСУ присутствуют следующие функциональные элементы САУ: объект управления; система определения показателей, характеризующих состояние объекта; система сравнения этого состояния с заданным целевым состоянием и, наконец, система выработки управляющих воздействий, корректирующих состояние управляемого объекта для дальнейшего его приближения к заданному целевому состоянию. В этой ситуации представляется весьма заманчивым привлечь для анализа характеристик ОСУ мощный математический аппарат теории САУ [15] и развитые в этой теории методы модельных представлений.

Конечно, выявленная аналогия достаточно поверхностна. При ближайшем рассмотрении между САУ и ОСУ вскрываются существенные различия. Организационные системы управления отличаются от обычных САУ внутренней противоречивостью целеполагающей системы, многомерностью реализуемых функций управления и, наконец, слабой структуризацией решаемых задач. Кроме того, попытки построить конструктивную кибернетическую модель без учета специфических особенностей личности, как активного элемента системы (см. гл.5) в большинстве случаев бесплодны.

Тем не менее, подход, базирующийся в значительной мере на применении основных концепций теории САУ к широкому классу производственно-экономических систем, получил уже довольно широкое развитие в ряде исследований, обзор которых содержится, например, в работе Шарпа [33]. Обычно этот подход называют системной динамикой. Нам представляется, что подход, основанный на модельном представлении исследуемой производственно-экономической или социально-экономической системы в виде САУ,

предпочтительнее называть кибернетическим моделированием. При этом гораздо шире, чем это сделано в работах, рассмотренных в обзоре Шарпа, должны использоваться модели и методы теории САУ: в частности, при анализе показателей качества функционирования ОСУ необходимо опираться на такое фундаментальное понятие теории САУ, как переходная характеристика системы. Эти наши представления основаны на практических результатах, полученных при системном анализе ОСУ конкретного вида — экстренной городской службы (ЭГС). Полученный в результате системного анализа и кибернетического моделирования набор расчетных моделей и алгоритмов позволяет определять показатели качества функционирования существующих ЭГС и проектировать новые службы по заданным показателям качества. Хотя ЭГС обладает довольно выраженной спецификой и мало похожа на производственно-экономические системы, основные положения предлагаемого подхода окажутся полезными при системном анализе и других ОСУ достаточно широкого класса.

Проблемы постоянного совершенствования систем управления городскими оперативными службами (милиция, скорая медицинская помощь, служба пожарной безопасности, служба спасения и т. п.) весьма актуальны. Недостаточная эффективность любой из перечисленных служб, помимо существенных потерь, связанных с неоптимальным использованием выделенных для этой службы ресурсов, может привести к значительным материальным и моральным потерям для населения города в целом. Материал настоящей главы является иллюстрацией того, каким образом формализованные методы и модели, рассмотренные в предыдущих главах, могут быть применены для модельного представления экстренной городской службы (ЭГС). Такое представление дает возможность получить методологическую основу для разработки методов и средств информационных технологий, а именно: для формализации задач, подлежащих автоматиза-

ции, для разработки информационного и математического обеспечения в контурах управления оперативной службой и для построения математических моделей.

7.2 Анализ задач экстренной городской службы

На рис. 7.1 представлен фрагмент дерева целей экстренной городской службы. Для любой из экстренных городских служб), таких, как служба охраны общественного порядка (ООП), служба спасения (МЧС), скорая медицинская помощь

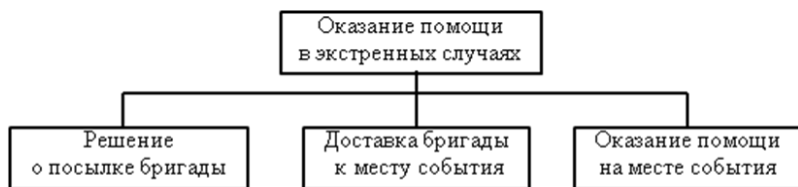


Рис. 7.1 Фрагмент дерева целей экстренной городской службы

(СМП), служба пожарной охраны (СПО) и т. п., характеристиками, от которых зависит принятие решения по обслуживанию вызова, являются координаты места события и информация о серьезности последнего.

Из трех основных задач сугубо специфичной для каждой из служб является задача оказания помощи на месте события, тогда как проблемы, возникающие при решении задачи доставки бригады к месту события, одинаковы для всех экстренных служб. Поэтому методы оптимизации решения этой задачи своевременной до-

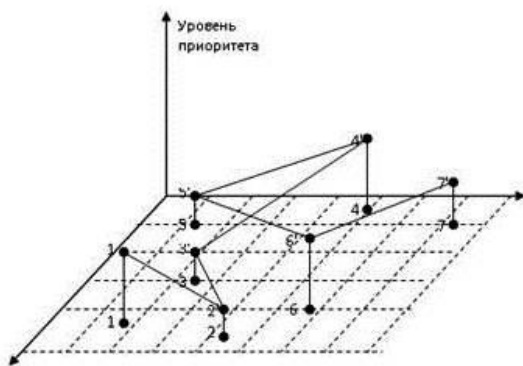


Рис. 7.2

ставки бригад можно разрабатывать на основе моделей, абстрагированных от конкретного содержания задач оказания помощи на месте. Анализ проблемной ситуации, с которой приходится иметь дело на месте события, в данной главе не рассматривается.

Все поступающие в экстренную городскую службу вызовы на основе определенных признаков можно различать по ожидаемой степени связанного с вызовом риска. Для службы пожарной безопасности, например, таким признаком является категория пожара, априорно определяемая на основе принятой информации о размерах очага возгорания, о характеристике загоревшегося объекта и пр. Свои признаки существуют и для службы спасения и для милиции и т. д. В соответствии с этим существует практика присвоения вызовам того или иного приоритета по срочности и по уровню обслуживания.

Характеристиками вызова, от которых зависит принятие решения по его обслуживанию, являются координаты места события и информация о состоянии больного или пострадавшего. Поскольку вся совокупность вызовов является упорядоченной последовательностью во времени, то можно говорить о траектории вызовов в трехмерном пространстве «территория – приоритет».

Схематически эта траектория представлена на рис. 7.2, где точки 1, 2, ..., 7 определяют координаты последовательно поступивших вызовов, а отрезки 1 — 1', 2 — 2', ..., 7 — 7'

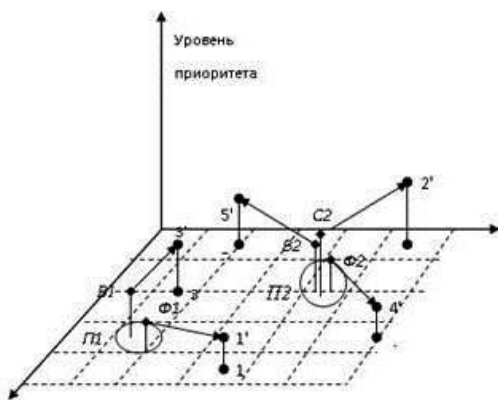


Рис. 7.3

соответствуют степени тяжести состояния больных или мере серьезности этих вызовов в некоторых условных единицах уровня приоритета.

В этом же трехмерном пространстве «территория – приоритет» некоторым образом заранее распределены ресурсы (выездные бригады), причем координата каждой из бригад по оси серьезности определяется уровнем обслуживания, который может обеспечить данная бригада. Для СМП высший уровень обслуживания обеспечивает специализированная бригада, затем следует линейная врачебная бригада и наименьший уровень соответствует фельдшерской бригаде.

В терминах принятой формализации назначение диспетчерской службы состоит в том, чтобы по мере «развития» траектории вызовов приводить в «соприкосновение» с каждой ее узловой точкой одну из точек пространства ресурсов, т. е. требуется «отследить» и воспроизвести эту траекторию. Схематически это представлено на рис. 7.3.

В точках Π_1 и Π_2 расположены подстанции СМП, причем на 1-й подстанции имеется врачебная бригада $B1$ и фельдшерская $\Phi1$, а на второй – специализированная $C2$, врачебная $B2$ и фельдшерская $\Phi2$ соответственно. Векторы $\Phi1 — 1'$, $C2 — 2'$, $B1 — 3'$, ..., $B2 — 5'$ – это те перемещения ресурсов в пространстве «территория – приоритет», которые осуществляются по указанию диспетчерской службы.

Из приведенного описания следует, что службу управления передвижными ресурсами ЭГС можно представить в виде следящей системы. Входным воздействием для этой системы является сообщение о событии, требующем оказания помощи, а откликом системы является доставка бригады к месту события.

Принятая формализация позволяет четко определить критерии качества управления. Таковыми являются величина временной задержки при отслеживании и точность отслеживания по оси приоритетов, т. е. степень соответствия уровня направленной на обслуживание бригады фактической важно-

сти события. Иными словами, задачей диспетчерской службы является минимизация векторов перемещений в трехмерном пространстве «территория – приоритет». Необходимость минимизации временной задержки очевидна. Своевременность является одним из основных показателей ЭГС.

Поэтому диспетчерская служба должна постоянно решать сложные информационно-логические задачи по выбору оптимальной тактики обслуживания. А выбор надлежащих методов и обоснование критериев оптимизации может быть произведен лишь на основе системного анализа блок-схемы контура оперативного управления доставкой выездных бригад на место события.

7.3 Блок-схема контура оперативного управления доставкой бригад на место события.

Поскольку целевую задачу оперативного управления доставкой бригад на место события можно сформулировать как задачу отслеживания траектории вызова. Следовательно, система, реализующая эту целевую задачу, может быть представлена как следящая система, обладающая соответствующим набором типовых элементов.

Сюда включаются блок приема и анализа входной информации (ПАВИ), блоки формирования управляющих воздействий (БУВ), цепи передачи управляющих воздействий (ПУВ), исполнительные механизмы (ИМ), а также цепи и блоки обратных связей (ОС).

На рис. 7.4 представлена блок-схема такой системы, содержащая перечисленные блоки. Система позволяет реализовать целевую задачу доставки бригады и обеспечить выработку воздействий, направленных на минимизацию временных потерь и повышение точности отслеживания по оси приоритетов. Звенья на рис. 7.4 имеют двойное обозначение.

В скобках приведены сокращенные обозначения звеньев как типовых элементов следящей системы. Выше, текстом,

указаны функциональные назначения звеньев в системе управления городской оперативной службой.

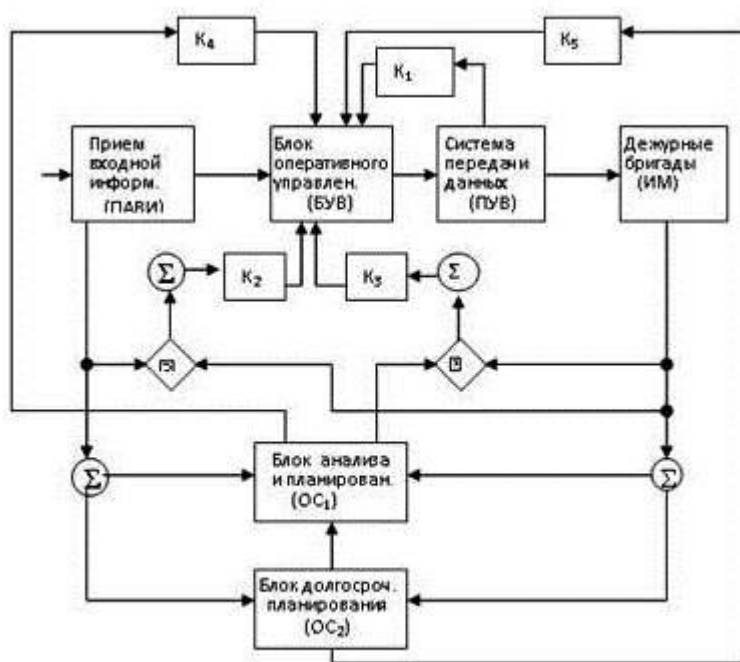


Рис. 7.4

В системе можно выделить три основных контура: контур оперативного управления, контур оперативного планирования и контур долгосрочного планирования и развития. Контур оперативного управления содержит звенья цепи прямого управления ИЭ, БУВ, ПУВ, ИМ и одно корректирующее звено K_1 в цепи обратной связи. Задачи, решаемые этими звеньями в реальном масштабе времени, обеспечивают оперативное управление имеющимся составом выездных бригад, обеспечивающим реализацией целевой задачи доставки бригады.

Непосредственно к оперативному управлению относится задачи выбора типа бригады и ее доставки к месту события. Оптимальное решение этой задачи позволяет достигнуть минимизации временных потерь и точности отслеживания по оси приоритетов, которая в принципе может быть достигнута при заданном числе и составе выездных бригад и заданном их распределении по подстанциям и во времени, а также заданных методах оценки исходной информации и заданных правилах принятия решений.

Цепи обратных связей, образованные звеньями $ОС_1$, $К_2$, $К_3$, позволяют оптимизировать распределение бригад по подстанциям и во времени и вводить коррекцию в методы оценки приоритетности поступающего вызова, а также в правила принятия решений, принимаемых в сомнительных случаях относительно выбора между временными потерями и неадекватностью уровня направляемой бригады и степенью серьёзности события. Эта группа задач должна иметь в качестве исходной информации некоторую накопленную совокупность результатов по предыдущим вызовам, с тем, чтобы получаемые решения базировались на данных, имеющих достаточную статистическую достоверность.

Поэтому во всех цепях обратной связи включены интегрирующие звенья, обозначенные на блок-схеме символом Σ . Группа задач, решаемая при помощи звеньев $ОС_2$, $К_3$, относится к задачам перспективного планирования. Корректирующие воздействия вводятся через эти звенья с весьма длительной временной задержкой, что связано с большими сроками, требуемыми для введения новых выездных бригад и строительства новых подстанций. Зато это корректирующее воздействие обладает наибольшей эффективностью в том смысле, что здесь нет ограничения на предельно достижимый уровень качества отслеживания. Существенным ограничением здесь является лишь экономический фактор.

7.4 Критерии показателей времени прибытия

Используя современные методы анализа информационно-логических цепей и систем автоматического регулирования, можно составить передаточные характеристики каждого из звеньев системы, и затем операторное уравнение для системы в целом. На основе анализа операторного уравнения системы можно получить количественные характеристики влияния каждого из звеньев на показатели качества системы в целом. Для задачи доставки бригады таким показателем является, естественно, отрезок времени от поступления заявки до прибытия бригады на место события. Обозначим этот отрезок t_a и будем называть его «время прибытия».

В реальных условиях это время является величиной случайной и его значение определяется суммой трех случайных величин: $t_a = t_d + t_w + t_r$. Здесь t_d – время задержки бригады на выезде, t_w – время ожидания заявки в очереди на обслуживание,

имеющее место в тех случаях, когда число поступивших заявок превышает количество свободных бригад (ситуация, наиболее характерная для СМП), и t_r – время проезда от подстанции до места события. Величина t_d , включающая в себя задержку на сбор бригады, посадку, выезд, зависит только от уровня организованности экстренной службы. Кроме того, ее величина значительно меньше, чем сумма остальных двух составляющих: $t_d \ll t_w + t_r$, поэтому в дальнейшем ее рассматривать не будем. Будем только учитывать, что эта величина входит в t_a как постоянная составляющая.

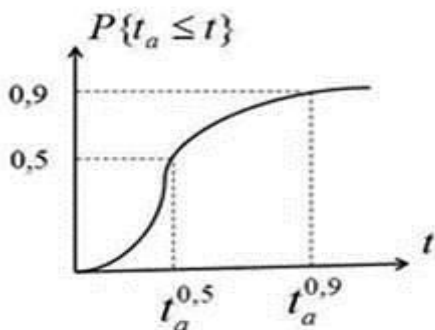


Рис 7.5 Распределение вероятностей времени прибытия

Случайная величина t_a имеет функцию распределения, имеющую вид, представленный на рис. 7.5. В роли показателей качества могут быть приняты два нормативных показателя: $t_a^{0,5}$, определяющий время прибытия для половины всех поступивших вызовов, и $t_a^{0,9}$, определяющий время, за которое бригада прибывает на место события не менее, чем в 90% случаев.

Отметим, что функция $P\{t_a \leq t\}$, представленная на рис. 7.5, обладает теми же свойствами, которыми обладает переходная характеристика любой временной системы, а именно:

$$P\{t_a \leq t\} = 0 \text{ при } t \leq 0 \quad \text{и} \quad P\{t_a \leq t\} \rightarrow 1 \text{ при } t \rightarrow \infty$$

Наличие указанных свойств позволяет формально принять функцию $P\{t_a \leq t\}$ в качестве отклика системы на единственный вызов, то есть, считать её переходной характеристикой системы. Тогда аналитическое определение этой функции при заданном количестве дежурных бригад и транспортных характеристиках обслуживаемой территории можно проводить, пользуясь методологией анализа следящих систем. Выбор конкретных методов анализа и способов их реализации зависит от состава и структуры блока ресурсов ЭГС. Классификация ЭГС по этому признаку приводится ниже.

7.5 Классификация ЭГС по составу блока ресурсов

Если по характеру решаемых задач блок оперативного управления ЭГС можно рассматривать как следящую систему, то по характеру потока поступающих заявок и принципов их обслуживания ЭГС является пространственно-распределенной системой массового обслуживания (СМО). Основными структурными признаками СМО является количество обслуживающих приборов (в нашем случае – бригад)

и способ их размещения в пространстве. Для небольших систем все бригады изначально могут размещаться в одном месте (пожарное депо, отделение милиции, станция СМП). Крупные системы в больших городах обычно имеют несколько таких мест размещения, которые именуются далее постами.

В зависимости от числа постов M и количества бригад N , входящих в состав блока ресурсов, будем различать следующие классы ЭГС: элементарная система, $M=1$, $N=1$; однотонная элементарная система общего вида, $M=1$, N — произвольное; многотонная элементарная система, M — произвольное, $N=M$ (здесь блок ресурсов содержит M постов, на каждом из которых размещена одна бригада); многотонная система общего вида, M — произвольное, N — произвольное.

Далее состав задач в каждом из указанных классов будет рассматриваться по каждому из трех контуров, выделенных в кибернетической модели: контуру организации и управления развитием, контуру анализа и планирования, контуру оперативного управления. Для каждого из указанных контуров можно определить свой показатель качества функционирования. Одним из основных показателей качества для контура оперативного управления является функция распределения вероятностей времени прибытия. Для определения этой функции необходимо рассмотреть кибернетическую модель блока управления.

7.6 Элементарная система

Состав задач контура «Организация и управление развитием: выбор узла размещения поста, расчет показателей отклика системы»

7.6.1. Выбор узла размещения поста

Выбор способа определения узла размещения поста зависит от уровня технического и программного оснащения

создаваемой системы. Вначале рассмотрим упрощенную ситуацию, когда выездные бригады не оснащены спутниковыми навигаторами, система не обладает возможностью фиксировать точку нахождения каждой из бригад и постоянно следить за их перемещением. При этом, бригада, выполнив задание, возвращается на подстанцию, и на новое задание выезжает каждый раз с подстанции.

В этой ситуации в качестве исходной информации можно использовать топологическую модель обслуживаемой территории, представленную в виде совокупности узлов, связанных между собой сетью существующих (или проектируемых) дорог. Расстояния между всеми узлами задаются матрицей пробегов, выраженных либо в единицах длины, либо непосредственно в единицах времени проезда оперативной бригады. В качестве узлов могут выступать кварталы (блоки) жилых строений,

крупные административные, промышленные, торговые, культурно-бытовые и прочие объекты, занимающие относительно небольшую площадь, такую, что при принятом масштабе рассмотрения эти объекты могут считаться точечными. Координаты объектов привязываются к ближайшему пересечению транспортных магистралей.

Каждый из выделенных таким образом узлов характеризуется удельной интенсивностью требований

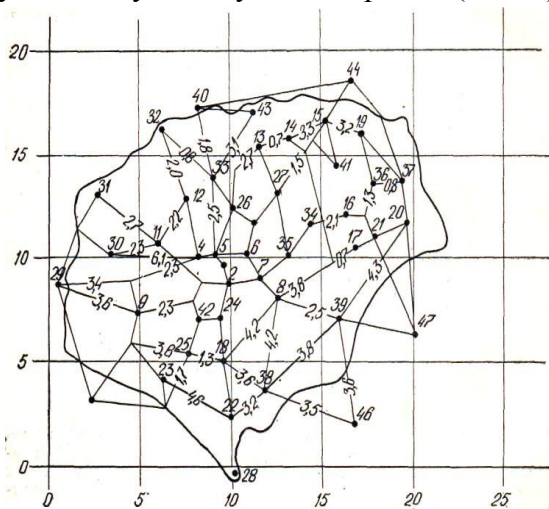


Рис. 7.6 Топологическая схема территории

$$f_k : (\sum_{k=1}^K f_k = 1)$$

где k — номер узла;

K — общее их число на обслуживаемой территории.

В качестве примера на рис. 7.6 показана схема сети дорог и размещения узлов в г. Нортамптоне, Нортамptonшир, Англия. Время пробегов между соседними узлами (в минутах) проставлено на рис. 7.6 непосредственно в разрывы хорд, соединяющих эти узлы. Данные по Нортамптону взяты из обстоятельной работы Дж. Хогг и Д. Морро [21].

На этапе организации элементарной системы задачу выбора узла для размещения поста можно решать двояко. Можно вначале указать узел для размещения подстанции, выбранный из каких-либо соображений экономического или административного характера, а можно выбрать место для размещения поста с точки зрения минимизации времени прибытия. В таком случае оптимальным для размещения поста будет узел, наиболее близко расположенный к «центру масс» обслуживаемой зоны. Математическая формулировка задачи выбора такого узла имеет вид:

$$\text{Минимизировать} \sum_{i \in I} t_{ik} f_k,$$

где I — множество индексов потенциальных узлов размещения (ПУР), в качестве которых рассматривается некоторый набор узлов, пригодных для размещения поста из экономических, административных и прочих соображений. Задача решается на основе матрицы пробегов между узлами, таблицы удельной интенсивности и списка ПУР с помощью алгоритма расчета кратчайших расстояний между вершинами графа [17]. Использование этого алгоритма позволяет функцию распределения вероятностей пробега до места события от узла, выбранного для размещения подстанции. Решив за-

дачу размещения подстанции, можно переходить к расчету показателей отклика системы на основании определения функции отклика блока ресурсов.

7.6.2 Блок-схема элементарной системы.

Кибернетическая модель блока ресурсов для элементарной системы представлена блок-схемой, показанной на рис. 7.7. Выездная бригада, как элемент САУ, представлена на этой блок-схеме двумя каналами.

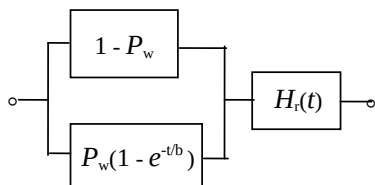


Рис. 7.7. Блок - схема подстанции СМП, как системы массового обслуживания

Один из них - безинерционный и обладает коэффициентом передачи $1 - P_w$, где P_w - вероятность того, что в момент поступления очередной заявки все бригады заняты на выезде и, стало быть, обслуживание очередной поступившей заявки начнется только через некоторое время ожидания t_w . То есть $P_w = P\{t_w \geq 0\}$ и в соответствии с этим указанную величину в теории массового обслуживания (ТМО) называют вероятностью ненулевого ожидания.

Второй канал - инерционный. Его коэффициент передачи в установившемся режиме равен P_w , а переходная характеристика $H_w(t)$ определяется, исходя из функции распределения вероятностей ожидания в очереди $P\{t_w \leq t\}$. Расчёт величины P_w и определение вида функции $P\{t_w \leq t\}$ осуществляется в зависимости от выбранного вида модельного представления элемента системы - подстанции, как системы массового обслуживания. При общепринятых для литературы по ЭГС предположениях бригада — это безотказная одноканальная система массового обслуживания вида $M/M/N$ [11, 14].

Характеристики такой системы определяются следующими соотношениями:

$$P_w = \rho = \lambda \bar{t}_b,$$

$$P\{t_w \leq t\} = 1 - e^{-t/b} \quad (7.1)$$

где ρ — коэффициент нагрузки, а величина b определяется соотношением:

$$b = \bar{t}_b / (1 - \rho)$$

t_b — среднее время занятости бригады на полном цикле обслуживания заявки.

Поскольку на блок-схеме бригада, как системный элемент, представлена двумя параллельными каналами, то общий его отклик определяется суммой откликов этих каналов. Стало быть, с учетом (7.1) получаем

$$P_\Sigma(t) = P_w H_w(t) + (1 - P_w) = 1 - P_w e^{-t/b}. \quad (7.2)$$

7.6.3 Расчет функции отклика блока пробега по обслуживаемой территории.

Как видно из блок-схемы на рис.7.7, последовательно с двумя параллельными блоками, отображающими отклик выездной бригады, последовательно включен блок, отображающий временную задержку за счет проезда по обслуживаемой территории.

В терминах

САУ можно принять, что переходной характеристикой этого

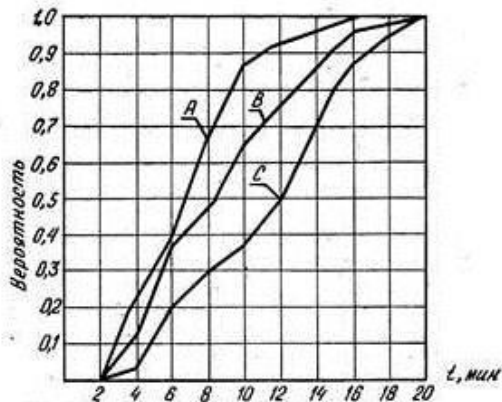


Рис. 7.8 Функция распределения вероятности времени пробега при размещении узлах: 4 (А), 15 (В), 22 (С)

блока $H_r(t)$ является функция распределения вероятностей пробегов $P\{t_r \leq t\}$. Вид этой функции определяется конфигурацией обслуживаемой зоны. То есть, зависит от координат расположения подстанции и существенно зависит от конфигурации сети основных транспортных магистралей, наличия железнодорожных путей, рек и иных препятствий, усложняющих проезд, а также от пространственного распределения плотности населения по территории обслуживаемой зоны.

Для проведения конкретных расчетов необходимо задать функцию распределения вероятностей пробегов в виде математической функции. Для этого можно воспользоваться данными, представленными на рис 7.8, где представлены расчетные распределения вероятностей времени пробега в зависимости от выбора узла для размещения поста [21].

Выбранную кривую на рис. 7.8 (например, кривую А) можно представить как сумму бесконечных прямоугольных ступенек, включающихся в моменты $i\tau$, и имеющих высоту $d_i = H(i\tau) - H[(i-1)\tau]$. Примем в качестве примера интервал $\tau = 5$ мин. Тогда для кривой А на рис 7.8 получим следующие значения

$$d_1 = H(\tau) - H(0) = 0,3 - 0 = 0,3;$$

$$d_2 = H(2\tau) - H(\tau) = 0,87 - 0,3 = 0,57;$$

Таким же образом получаем: $d_3 = 0,41$; $d_4 = 0,02$; $d_5 = 0$.

Изображение по Лапласу временной функции, имеющей вид прямоугольной ступеньки высотой d , записывается как функция d/p , а изображение функции, являющейся суммой прямоугольных ступенек, включающихся в моменты $t_i = i\tau$, имеет соответственно вид

$$H_r(p) = \frac{1}{p} \sum_i d_i \exp(-ip\tau) \quad (7.3)$$

Подставляя в (7.3) числовые данные, получим:

$$H_r(p) = (1/p)(0,3e^{-\tau p} + 0,57e^{-2\tau p} + 0,41e^{-3\tau p} + 0,02e^{-4\tau p}). \quad (7.4)$$

Поскольку, по определению, изображение передаточной функция звена $h(p)$ связано с изображением функции отклика этого звена $H(p)$ соотношением

$$h(p) = pH(p), \quad (7.5)$$

то из (7.4) и (7.5) следует, что изображение звена, отображающего временную задержку, связанную с проездом $h_r(p)$ имеет вид

$$h_r(p) = 0,3e^{-\tau p} + 0,57e^{-2\tau p} + 0,41e^{-3\tau p} + 0,02e^{-4\tau p} \quad (7.6)$$

Соответственно для инерционного канала, отображающего временную задержку, связанную с ожиданием в очереди, из (7.1) и (7.5) следует

$$H_w(p) = \frac{1}{p(1+bp)} \quad (7.7); \quad h_w(p) = \frac{1}{1+bp} \quad (7.8).$$

Теперь, в соответствии с блок - схемой, представленной на рис. 7.8, и полученными изображениями передаточных функций звеньев можно записать изображение функции отклика $H_a(p)$ для блока ресурсов в целом, состоящего из двух параллельных и одного последовательного звена

$$H_a(p) = \frac{1}{p} \left\{ (1 - P_w) + P_w \frac{1}{1+bp} \right\} (0,30e^{-\tau p} + 0,57e^{-2\tau p} + 0,41e^{-3\tau p} + 0,02e^{-4\tau p}) \quad (7.9)$$

Из (7.9) следует, что оригиналом функции отклика $H_w(t)$ является сумма прямоугольных ступенек, включающихся в моменты $i\tau$ и имеющих высоту $a_i(1 - P_w)$, и сумма экспоненциальных функций. Следовательно, значения ординат P_i функции отклика в точках $i\tau$ определяются соотношениями

$$H(t_i) = \sum_0^i (1 - P_w) d_i + \sum_0^i P_w \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{t - i\tau}{b} \right] \right\}, \quad (7.10)$$

Таким образом, при заданных значениях интенсивности потока заявок λ и длительности времени обслуживания t_b , количественные значения $H(t_i)$ могут быть определены для любых заданных значений времени и тем самым определена важнейшая функциональная характеристика блока ресурсов - распределение вероятностей прибытия к месту происшествия. На основе полученного распределения можно принимать решения о качестве работы данного блока и о необхо-

Таблица 7.1

Время прибытия t_i (не более) мин.	5	10	15	20	25
Вероятность $H(t_i) = P(t_r \leq t_i)$	0	0,06	0,45	0,85	1,00

димых мерах по его улучшению, например, путем увеличения количества дежурных бригад.

Для расчета функции распределения вероятностей временных задержек, связанных с

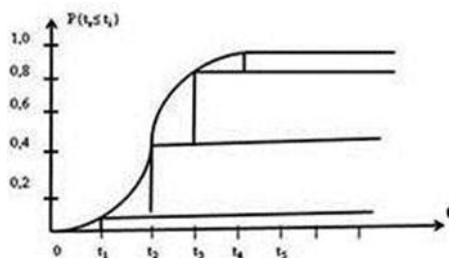


Рис. 7.9 Экспериментальное распределение вероятностей времени пробега

пробегом, можно воспользоваться информацией, полученной из статистических или экспериментальных данных.

Для этого необходимо обработать карточки выездов, заполняемые бригадой СМП и по полученным данным построить гистограмму вида, представленного на рис. 7.9. Эта гистограмма построена на основе условных экспериментальных данных, приведенных в табл. 7.1.

Гистограмму на рис. 7.9. можно представить как сумму прямоугольных ступенек, включающихся в моменты t_i и имеющих высоту $d_i = H(t_i) - H(t_{i-1})$.

Таким образом:

$$d_1 = H(t_1) - H(0) = 0,06 - 0 = 0,06;$$

$$d_2 = H(t_2) - H(t_1) = 0,45 - 0,06 = 0,39; \quad d_3 = 0,40; \quad d_4 = 0,15.$$

7.7 Однозонная система

Состав задач контура «Организация и управление развитием»: выбор оптимального узла размещения поста, расчет необходимого числа бригад, расчет функций и показателей отклика.

Процедура выбора оптимального узла для размещения поста в однозонной системе такая же, как и для элементарной системы. Однако, вид функции распределения времени прибытия в такой системе зависит от количества дежурных бригад, поэтому процедура определения функции отклика системы несколько отличается.

7.7.1 Определение функции отклика.

В одноканальной системе $1, N$, как и в элементарной системе, функция отклика N бригад определяется прохождением заявок по двум каналам. Доля заявок $1 - P_w$, поступающих в моменты, когда есть хотя бы одна свободная бригада, проходит по безынерционному каналу. Здесь P_w — вероятность ненулевого ожидания, определяемая известным из ТМО соотношением [11, 14]

$$P_w = \left[1 + \left(1 + \frac{y}{N} \right) \frac{N!}{y^N} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{y^i}{i!} \right]^{-1} \quad (7.11),$$

где $y = \lambda \bar{t}_b$.

Для этих заявок функция отклика определяется только функцией распределения вероятностей пробегов $H_r(t)$. Доля заявок, равная P_w , поступает в систему в момент времени, когда все бригады заняты. Каждая такая заявка ставится в очередь, и для нее время прибытия t_a определяется суммой случайных величин t_w и t_r .

Таким образом, блок-схема системы $1, N$ аналогична блок-схеме элементарной системы (см. рис. 7.7). В соответствии с этим функция отклика системы $H_a(t)$ определяется соотношениями (7.9), (7.10), в которые подставляется значение P_w , определяемое из (7.11), и значение b , определяемое из соотношения

$$b = \bar{t}_b / (N - y) \quad (7.12)$$

Расчет необходимого числа бригад. Расчет необходимого числа бригад производится исходя из заданного значения предельного времени отклика $t_{a_n}^{0,9}$ и значения максимального

времени пробега t_{rmax} от выбранного узла размещения поста до наиболее удаленной него точки обслуживаемой территории.

Если $t_{a_n}^{0,9} > t_{rmax}$, то предварительный расчет необходимого числа бригад может быть осуществлен на основе неравенства, полученного из (7.10).

$$N \geq \frac{\overline{t_b}}{t_{a_n}^{0,9}} \ln\left(\frac{P_w}{N-y} \cdot \frac{D\overline{t_b}}{0,1}\right) + y, \quad (7.13)$$

где

$$D = \frac{1}{\tau} \left| \sum_{i=0}^I d_i \exp\left(-\frac{t-i\tau}{b}\right) \right|, \quad (7.14)$$

где y – коэффициент нагрузки на систему, $y = \lambda \overline{t_b}$, который связан с коэффициентом нагрузки на бригаду ρ соотношением

$$\rho = y/N \quad (7.15)$$

На рис. 7.10 показаны графики зависимости среднего времени ожидания $\overline{t_w} = P_w \overline{t_b} / (N - y)$ от числа бригад N , при различных значениях ρ .

Вначале определяется оценка

$$\overline{t_b} = \overline{t_s} + 2t_r,$$

где t_s — среднее время занятости бригады на месте события; t_r — среднее время пробега.

Затем определяется значение y , и в качестве начальной оценки необходимого количества бригад $\tilde{N}^0$ принимается число $y+1$, округленное до ближайшего целого.

Определив значение ρ из (7.15), по графикам на рис. 7.10 находят величину $\bar{t}_b P_w / (\tilde{N}^0 - y)$, соответствующую оценке $\tilde{N}^0$, и, подставляя ее в (7.14) проверяют справедливость этого неравенства, предварительно найдя b из (7.12) и вычислив D из (7.14). Если неравенство (7.13) не выполняется, то принимают $N^{(1)} = N^{(0)} + 1$ и повторяют вычисления. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет найдена величина $N^{(i)}$, при которой неравенство (7.13) окажется справедливым. Для случая, когда $t_{a_n}^{0,9} < t_{r_{\max}}$, прежде всего проверяется справедливость неравенства $t_{a_n}^{0,9} > t_r^{0,9}$.

(7.16)

При невыполнении этого неравенства заданное значение $t_{a_n}^{0,9}$ в однозонной системе не может быть достигнуто. Если же неравенство (7.16) выполняется, то на этапе получения оценки $\tilde{N}^{(i)}$ итерационная процедура реализуется по алгоритму, описанному выше. Далее найденное значение $\tilde{N}^{(i)}$ подставляется в формулу для расчета функции отклика (7.9), и из этого выражения вычисляется значение $t_{a_i}^{0,9}$. Если

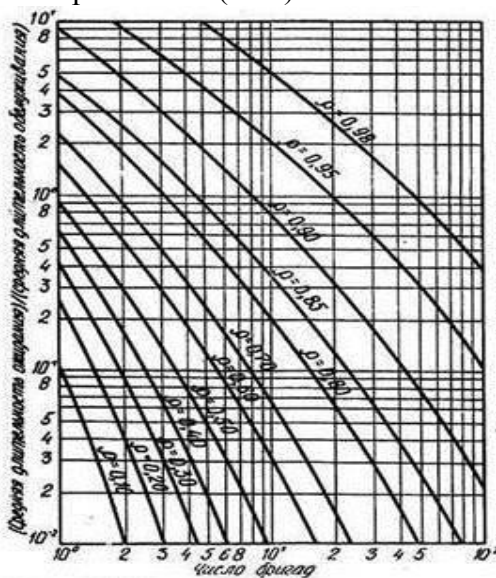


Рис. 7.10 Расчётные номограммы для определения величины b

окажется, что $t_{a_i}^{0,9} > t_{a_n}^{0,9}$, то число бригад увеличивается последовательно на единицу и вычисления по формуле (7.3) повторяются, пока не будет достигнуто значение $t_{a_i}^{0,9} \leq t_{a_n}^{0,9}$.

7.7.2 Расчёт показателей функции отклика в режиме общей очереди

Блок-схема многозонной элементарной системы, работающей в режиме общей очереди, показана на рис. 7.11. В данной системе, как и в любой системе ЭГС, начальный поток заявок распределяется по двум каналам.

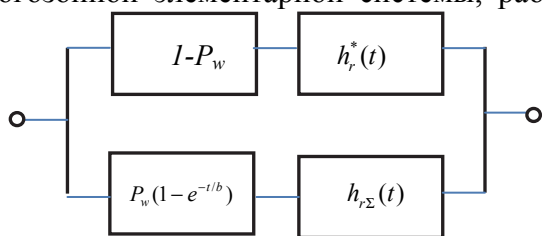


Рис. 7.11 Блок-схема блока ресурсов многозонной элементарной системы

Доля заявок $1 - P_w$ поступает в моменты времени, когда есть хоть одна свободная бригада.

Функция отклика для этих заявок зависит только от функции распределения пробегов $H_r^*(t)$, которая в общем случае представляется в виде кусочно-линейной функции

$$H_r^*(t) = \sum_{i=1}^I d_i^* \frac{t - i\tau}{\tau},$$

$$\text{где } d_i^* = a_{i+1}^* - 2a_i^* + a_{i-1}^*; \quad a_i^* = \sum_{j=1}^M \sum_{\{k: t_{jk} \leq i\tau\}} \rho_{jk};$$

I — целое число, определяемое из условия

$$(I-1)\tau < t_{jk_{\max}} \leq I\tau;$$

$t_{jk_{\max}}$ — максимальный пробег в системе;

ρ_{jk} — доля поездок бригады из поста j в узел k .

Доля заявок P_w , для которой функция распределения вероятностей длительности ожидания начала обслуживания имеет вид $H_w(t) = 1 - e^{-t/b}$, с одинаковой вероятностью, равной $1/M$, обслуживается любой бригадой, которая делает при этом пробег в пределах всей обслуживаемой территории. Функция распределения вероятностей пробегов для этих заявок

$$H_{r\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^I d_{\Sigma_i} \frac{t - i\tau}{t}, \quad (7.17)$$

$$\text{где } d_{\Sigma_i} = a_{\Sigma_{i+1}} - 2a_{\Sigma_i} + a_{\Sigma_{i-1}}; \quad a_{\Sigma_i} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M a_{ij}; \quad (7.18)$$

a_{ij} — ординаты функций распределения пробегов, получаемые из соотношения (7.10), как для односторонней системы, при размещении поста в узле j , $j = \overline{1, M}$. Для Нортамптона, например, при размещении постов в узлах 4, 15, 22 ординатами a_{ij} будут соответствующие ординаты кривых A , B , C (см. рис.7.9).

Исходя из блок-схемы (см. рис. 7.11) и пользуясь формулами для расчета функции отклика (7.11), (7.12) получаем

$$H_a(p) = \frac{P_w}{\tau} \sum_{i=0}^I \frac{d_{\Sigma_i} e^{-i\tau p}}{p^2(1+bp)} + \frac{1-P_w}{\tau} \sum_{i=0}^I d_i^* \frac{e^{-i\tau p}}{p^2},$$

откуда следует

$$H_a(t) = P_w \frac{b}{\tau} \sum_{i=0}^I d_{\Sigma_i} \left(e^{\frac{i\tau-t}{b}} + \frac{t-i\tau}{b} - 1 \right) + (1-P_w) \sum_{i=0}^I d_i^* \frac{t-i\tau}{\tau} \quad (7.19)$$

Соотношение (7.19) справедливо при $l\tau \leq t < (l+1)\tau$.

Поскольку при $l = I$ справедливы равенства

$$\sum_{i=0}^l d_{\Sigma_i} = \sum_{i=0}^l d_{\Sigma_i}^* = 0; \quad \sum_{i=0}^l d_{\Sigma_i} \frac{t - i\tau}{\tau} = \sum_{i=0}^l d_i^* \frac{t - i\tau}{\tau},$$

то для интервала $I\tau \leq t < \infty$ выражение (7.19) переходит к виду

$$H_a(t) = 1 - P_w \frac{b}{\tau} \left| \sum_{i=0}^I d_{\Sigma_i} e^{i\tau/b} \right| e^{-t/b}, \quad (7.20)$$

где P_w и b определяются соотношениями (7.17) и (7.18) при $N = M$.

Таким образом, для расчета функций отклика многозонной элементарной системы, работающей в режиме общей очереди, остается только определить значение коэффициентов нагрузок ρ_{ij} . Метод расчета этих коэффициентов на основе строгого анализа работы в режиме общей очереди для двузонной системы дан Г. Картером с соавторами [16]. Р. Ларсон в работе [28] на основе анализа N -мерного гиперпространства состояний предложил «гиперкубическую» модель, позволяющую рассчитывать коэффициенты ρ_{ij} для многозонной ЭГС в режиме общей очереди при числе постов $M \leq 15$. В работе [29] он предложил аппроксимирующую модель, позволяющую вычислять вероятности перекрестных поездов ρ_{ij} в системе с произвольным числом постов.

7.7.2 Задачи контура «Оперативное управление»

Состав задач: передислокация, управление в режиме с замещением, приоритетное обслуживание.

Показатели отклика многозонной элементарной системы могут значительно изменяться при выезде одной из бри-

гад на выполнение задания. Эти изменения наиболее существенны для СПО, где большая доля событий требует выезда на место двух, а иногда и трех бригад [31, 32]. Поскольку бригады СПО заняты на подавлении пожара довольно долго (до 1,5 ч и более), то в системе противопожарной защиты обслуживаемой территории образуются на этот период зоны, уровень защищенности которых (по показателю отклика) значительно ниже допустимого.

Для уменьшения общей степени риска в таких случаях практикуется передислокация: после выезда необходимого числа бригад на место события, оставшиеся бригады перераспределяются по всем существующим постам так, чтобы обеспечивались минимум времени отклика, достижимый при имеющемся составе свободных бригад, и равномерная защита всей территории.

Оптимальные наборы узлов размещения свободных бригад при различном их количестве могут быть заранее рассчитаны в составе задач контура «Анализ и планирование». Расчеты следует проводить применительно к определенному времени суток, дням недели, сезонам года, а также могут рассчитываться каждый раз в контуре «Оперативное управление» применительно к конкретно возникшей ситуации [8]. Для определения оптимальных наборов узлов размещения используются те же алгоритмы, которые входят в состав контура «Организация и управление развитием».

Кроме упомянутой задачи, в контуре «Оперативное управление» должна решаться также задача управления процессом передислокации. Обычно процесс передислокации осуществляется по цепочке, т. е. пост, освободившийся после выезда бригады на место события, в любом случае занимает свободная бригада с ближайшего соседнего поста. Ее место при необходимости занимает свободная бригада со следующего свободного поста и т. д. до тех пор, пока в принципе все бригады не будут размещены именно в тех узлах, которые соответствуют оптимальному набору.

Однако целесообразность каждого перемещения должна определяться диспетчерской службой на основании сопоставления степени риска, связанного с уменьшением защищенности обслуживаемой территории на время передислокации каждой из бригад, со степенью риска, связанного с неосуществлением передислокации [31]. Поэтому в конкретных ситуациях процесс передислокации может быть прерван диспетчерской службой еще до того, как будет достигнуто оптимальное размещение. Ясно, что набор оптимальных решений такого рода не может быть заготовлен заранее на все случаи жизни и подобные решения должны вырабатываться именно в контуре «Оперативное управление».

7.8 Многозональная система общего вида

7.8.1 Задачи контура «Организация и управление развитием»

Состав задач: оценка необходимого числа зон и бригад; расчет функции и показателей отклика.

Оценка необходимого числа зон и бригад. Для получения начальных оценок требуемого числа зон и бригад необходимы следующие исходные данные: A — площадь обслуживаемой территории; λ — общая интенсивность вызовов; $\bar{t}_s$ — среднее время занятости при обслуживании заявки на месте события; $t_{a_n}^{0,5}$ — нормативно установленное медианное значение времени отклика. На основе этих данных прежде всего производится оценка среднего значения общего времени занятости $\bar{t}_b$. Для этого используется выражение

$$\bar{t}_b = \bar{t}_d + \bar{t}_s + 2\bar{t}_{a_n}^{0,5}.$$

Далее оценивается коэффициент нагрузки на систему

$$\tilde{y} = \lambda \tilde{\bar{t}}_b. \quad (7.21)$$

Начальная оценка удельного коэффициента нагрузки $\tilde{\rho}$ производится исходя из следующих соображений. В любой системе при $P_w \gg 0,05$ вклад времени ожидания t_w в общее время отклика становится существенным. Поэтому начальное значение коэффициента нагрузки ρ целесообразно выбирать из условия $P_w \leq 0,05$. Это условие обеспечивается, если начальная оценка числа бригад $\tilde{N}$ выбирается из условия $\tilde{N} = N_{необх}$, где $N_{необх}$ определяется из графика на рис. 7.12 при найденном значении $\tilde{y}$. Тогда $\tilde{\rho} = \tilde{y} / \tilde{N}$.

Для начальной оценки необходимого числа зон $\tilde{M}$ в системе общего вида можно использовать эмпирические соотношения. В ряде работ по ЭГС в явном или неявном виде встречается утверждение, что чем больше на территории количество постов, по которым распределены бригады, тем меньше время прибытия. Ввиду своей сложности задача определения оптимального числа зон для системы $M/M/1$ (система имеет M зон, M постов, и на каждом посту – одна бригада) обычно решается с помощью итерационного процесса, сходимость которого, естественно, зависит от качества начального решения. Поэтому необходим метод, который позволял бы получить начальные оценки сравнительно простым способом.

Для получения начальной оценки ожидаемого времени отклика нужно иметь модель, определяющую функциональную зависимость между расстоянием r , разделяющим узлы i и j , и временем пробега $t_{r_{ij}}$. В ряде работ такая зависимость принимается линейной. П. Колесар, исследовавший этот вопрос более детально, установил, что на вид функциональной зависимости влияет длина пробега [24]. При коротких пробегах время пробега пропорционально корню квадратному из расстояния, а при длинных - зависимость становится линей-

ной. Исходя из этого им предложена эмпирическая модель, позволяющая связать интенсивность потока заявок λ и величину обслуживаемой площади A с ожидаемым временем пробега t_r имеет вид:

$$t_r = \alpha + \beta[A(M - \rho)]^\gamma,$$

откуда следует
$$\tilde{M} = A\left(\frac{\beta}{t_{r_n}^{0,5} - \alpha}\right)^{1/\gamma} + \tilde{\rho}. \quad (7.22)$$

Приняв, что для получения начальных оценок могут использоваться значения параметров, определенные Колесаром для Нью-Йорка [25]: $\alpha=0$; $\beta=1,9$; $\gamma = 0,3$ — получаем

$$\tilde{M} = 8,3A(t_{r_n}^{0,5})^{-3,3} + \tilde{\rho}.$$

И, наконец, оценку требуемого времени пробега $t_{r_n}^{0,5}$ можно найти из неравенства

$$t_{r_n}^{0,5} \leq (1 - P_w)t_{a_n}^{0,5}. \quad (7.23)$$

Таким образом, начальная оценка требуемого числа бригад $\tilde{N}$ определяется из графика (см. рис. 7.12), а начальная оценка требуемого числа зон $\tilde{M}$ — из соотношения (7.22), куда подставляется значение $t_{r_n}^{0,5}$, найденное из (7.23).

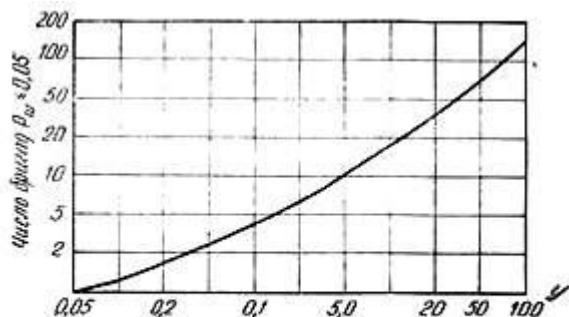


Рис. 7.12 График зависимости необходимого Числа бригад от нагрузки при условии $\rho \leq 0,05$

Далее на основе алгоритмов, описанных в разделе 7.9.1, реализуется процедура определения оптимального выбора узлов размещения постов при заданном значении $t_{r_n}^{0,5}$ и процедура эквидистантного зонирования. Начальное распределение бригад по зонам проводится исходя из условия обеспечения примерного равенства коэффициента нагрузок ρ_i , для каждой из зон. На этом начальный этап синтеза системы общего вида заканчивается, и дальнейшая ее оптимизация может быть выполнена только на основе расчета функции и показателей отклика.

Расчет функции отклика. Блок-схема системы общего вида M, N не отличается от блок-схемы многозонной элементарной системы типа M, M . Поэтому расчет функции отклика для системы M, N может производиться по формулам (7.19), (7.20). Однако процедура расчета индивидуальных коэффициентов нагрузки для бригад и доли поездок каждой из бригад в каждый из узлов изменяется. Подробнее это изложено в [24].

7.9 Определение показателей эффективности ЭГС

Поскольку показатель эффективности выражает в общем случае отношение полученных результатов к затраченным усилиям и ресурсам, то, прежде всего, необходимо определить характер полезного продукта, получаемого обществом в результате деятельности ЭГС. На вход системы (см. рис. 7.4) поступает информация о вызове (координаты и характер события), на выходе цепочки управляющих звеньев выдается информация в виде управляющих распоряжений: по контуру оперативного управления — указание бригаде на выезд; по контуру анализа и планирования — графики рас-

пределения бригад по подстанциям и по времени суток; по контуру организации и управления развитием — предложения о вводе новых бригад и постов и их размещении на территории города.

Если все бригады однородны по составу и квалификации персонала и по степени оснащенности, то от качества управляющих решений зависит только один показатель качества работы ЭГС — время прибытия. Характер этого влияния можно установить на основе примера, рассмотренного выше, в котором сравнивались между собой показатели отклика систем с централизованным и децентрализованным управлением. Расчет показал, что в рассмотренном примере при наличии пяти бригад, размещенных на трех постах и работающих в автономном режиме, показатель $t_a^{0,95} = 64,78$ мин. Ясно, что это значение неприемлемо и его необходимо уменьшить.

Уменьшение показателя $t_a^{0,95}$ может быть достигнуто двумя способами. Один из них — увеличить число бригад до $N = 8$, добавив на каждую подстанцию по одной бригаде, т. е. ввести дополнительно три бригады и сохранить при этом автономный режим работы. При этом функция отклика системы будет иметь вид, представленный кривой D на рис. 7.21, а показатель $t_a^{0,95}$ примет значение 16,8 мин. Можно, однако, не привлекая дополнительных бригад, ввести блоки централизованного управления, т. е. центральную оперативную службу, подчинив ей все бригады. В этом случае функция отклика системы будет соответствовать кривой A на рис. 7.21 и показатель $t_a^{0,95}$ примет значение 17,78 мин.

Таким образом, введение централизованного управления можно рассматривать как использование нового способа организации производства и труда, обеспечивающего повышение технико-экономических показателей производства. Поэтому для определения его эффективности применима со-

ответствующая методика. Любая подобная методика требует обеспечения сопоставимости вариантов по объему производимой работы, качественным параметрам, фактору времени и социальным факторам производства. Поэтому, за базовый принимается расчетный вариант системы, работающей без централизованного управления, но имеющей такие же показатели по времени прибытия, как и исследуемая система, что достигается введением ΔN дополнительных бригад по сравнению с их числом $N_{исх}$ в исследуемой системе.

Например, при расчетах годового экономического эффекта от введения пускового комплекса автоматизированного централизованного управления, внедренного на московской СМП в 1975 г. [8], использовалось следующее соотношение:

$$\mathcal{E}_{год} = E_n (\Delta K_{бр} - K_{унр}) + (\Delta C_{бр} - C_{унр}), \quad (7.24)$$

где $\Delta K_{бр}$ — объем капитальных вложений на оснащение ΔN дополнительных бригад;

$\Delta C_{бр}$ — годовые эксплуатационные расходы на их содержание;

$K_{унр}$ — капитальные вложения на создание автоматизированной системы централизованного управления;

$C_{унр}$ — годовые эксплуатационные расходы на ее содержание;

E_u — коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, имевший в 1975 г. значение 0,15.

Срок окупаемости капитальных вложений на введение централизованного управления можно определить из соотношения:

$$T_{унр} = (K_{унр} - \Delta K_{бр}) / (\Delta C_{бр} - C_{унр}) \quad (7.25)$$

Очевидно, что при введении реальной системы управления, неизбежно обладающей внутренними потерями, до-

стигаемое сокращение времени прибытия будет меньшим, чем при введении идеальной системы. Однако можно добиться одинакового сокращения времени прибытия путем введения в реальную систему некоторого числа «избыточных» (по сравнению с расчетным числом) бригад $N_{изб}$. Тогда показатель функциональной эффективности

$$\mathcal{E}\Phi_{упр} = \frac{N_{исх} - \Delta N_{изб}}{N_{исх}} = 1 - \frac{\Delta N_{изб}}{N_{исх}},$$

где $N_{исх}$ — число имеющихся бригад в реальной системе;

$\Delta N_{изб}$ — число «избыточных» бригад, которое можно было бы вывести из обращения, сохранив неизменным время прибытия путем введения автоматизированной системы управления. Или, сохранив это число неизменным (что и делается на практике) реально сократить время прибытия.

При таком определении показатель функциональной эффективности отражает относительную степень организованности существующей системы управления, позволяет сравнить ее по этому показателю с другими системами аналогичного назначения и дает возможность определить стоимость ущерба, наносимого управлением, не выявившим (или недостаточно полно выявившим) имеющиеся ресурсы системы. Ущерб здесь понимается в расширительном толковании как упущенная выгода или недостаточно полно (непроизводительно) используемый ресурс.

Более достоверную сопоставимость вариантов по показателям качества обеспечивает сравнение не по среднему, и не по медианному времени прибытия $t_a^{0,5}$. Более объективным является показатель $t_a^{0,95}$ - предельное время прибытия. Поэтому, для определения показателей функциональной и экономической эффективности оперативной службы необходимо рассчитывать функцию отклика, используя, например, описанную выше методику определения расчетного времени

прибытия $t_a^{0,95}$ с учетом заданного числа бригад и их пространственно-временного распределения. При этом определяется также число бригад, необходимое для обеспечения заданного значения этого показателя.

Остается надеяться, что материал настоящей главы содержит конструктивные ответы на те вопросы, которые неизбежно возникают при сколь-нибудь серьезном системном анализе проблем, связанных с оптимизацией управления любой городской экстренной службой.

Литература

1. Б а ш а р и н Г. П. Об обслуживании двух потоков с относительным приоритетом на полnodоступной системе с ограниченным числом мест для ожидания. — Изв. АН СССР. Сер. Техническая кибернетика, - 1967, № 2.
2. Бескровный И. М., Комаров Б. Д. Применение математических методов и электронно-вычислительной техники в управлении скорой медицинской помощью. — В кн.: Основы организации скорой помощи, М: Медицина, - 1979. — с. 42-48
3. Бескровный И. М. и др. Дистанционная вероятностная оценка ожидаемой тяжести состояния травматологического больного на основании признаков, характеризующих обстоятельства травмы. — В кн.: Тез. докл. 2-й Всероссийской науч.-практ. конф. по медицинской кибернетике. Минздрав РСФСР, - 1979. — с. 18
4. Бескровный И. М., Ревин Ф. А., Забашта П. Т. Методы априорной оценки степени тяжести пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях. — Тр. НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского. М., т. 23. Сочетанная травма. — 1978. — с.25-31
5. Бескровный И. М. Модельное представление оперативной службы на примере скорой медицинской помощи. —

Автоматика и телемеханика, № 6. - 1978. – с. 19-26.

6. Бескровный И. М. Определение критериев эффективности оперативной службы скорой медицинской помощи на основе ее модельного представления в виде следящей системы.—В кн.- Критерии эффективности организационных структур в здравоохранении. М.: МОЛГМИ им. Н. И. Пирогова, - 1978.

7. Бескровный И. М. и др. Методы решения задач по эффективному использованию транспортных резервов на основе теории массового обслуживания. — В кн.: Материалы семинара «Совершенствование систем управления городским хозяйством». М.: ГКНТ СССР: ВДНХ СССР, 1976, с. 105-109.

8. Бескровный И. М. и др. Состав задач пускового комплекса АСУ госпитализацией экстренных больных в Москве. — В кн.: Материалы семинара «Совершенствование систем управления городским хозяйством». М.: ГКНТ СССР: ВДНХ СССР, - 1976, с. 52-58.

9. Бескровный И. М., Енилеев Р. Х., Лазарев М. И. Об одной задаче, возникающей при разработке АСУ скорой медицинской помощью большого города. — В сб. Вопросы кибернетики, М.: АН СССР. - 1976.

10. Бескровный И. М., Ворохобов Л. А., Каверин Н. М. Об оценке экономической эффективности внедрения математических методов и средств вычислительной техники в практику управления городским здравоохранением. — В кн.: Материалы семинара «Совершенствование управления городским хозяйством». М.: ГКНТ СССР: ВДНХ СССР, - 1976, - с. 55-61.

11. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. — М.: Наука, - 1966.

12. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования.—М.: Наука, - 1976.

13. Кокотушкин В. А., Михалев Д. Г. Обслуживание полнодоступным пучком нескольких потоков с относительным

- приоритетом на обслуживание и ограниченной общей очередью. — Проблемы передачи информации, т. 5, вып. 2. -1969.
14. К о ф м а н А., К р ю о н Р. Массовое обслуживание. — М.: Мир, - 1975.
15. Солодовников В. В. Основы теории автоматического управления. М.: Высшая школа, - 1968.
16. Carter G. M., Chaiken J. M., Ignall E. Response areas for two emergency units. Opns. Res., 20, 571. - 1972.
17. Floyd R. W. Algorithm 97 — Shortest Path. Commun. Ass. Comput., Mach., 5, 345, - 1962.
18. Geoffrion A., Marsten R. Integer programming algorithms: a framework and state-of-the — art survey. Management Sci., 18, 137, - 1972.
19. Groom K. N. The estimation of emergency ambulance cover. NHS ORG report, 75/16, Dec, - 1975.
20. Heller N. B., Stenzel W. W. Design of police work schedules. Urban Analysis, 2, 21, - 1974.
21. Hogg J. M., Morrow D. M. The siting of fire stations in Northampton and Northamptonshire. Fire Research report, N 4/73, Home Office, SAB, Dec, - 1973.
22. Hogg J. M. Losses in relation to the fire brigade's attendance time. Fire Research report, N 5/73, Home Office, SAB, Oct. - 1973.
23. Kolesar P. et al. Approach to scheduling police patrol cars. Opns. Res., 23, N 6, 1045, - 1975.
24. Kolesar P. A model for predicting average fire engine travel times. Opns. Res., 23, N 4, 603, - 1973.
25. Kolesar P., Walker W., Hausner J. Determining the relation between fire engine travel times and travel distances in New York city. Opns. Res., 23, N 4, 614. - 1973.
26. Kolesar P., Walker W. A simulation model of police patrol operations: program description. R-1625/2-HUD/NYC, The New York City — Rand Institute, New York, Febr., - 1975.

27. L a r s o n R. C. A hypercube queueing model for facility location and redistricting in urban emergency services. Computers and Opns. Res., 1, 67, - 1974.
28. L a r s o n R. C. Approximating the performance of urban emergency service system. Opns. Res., 23, N 5. 845, - 1975.
29. Program manual for the station sitting programs, Home Office, SAB, Dec, 1973.
30. Rait R. A., A d a m s L. I. Greater Manchester metropolitan ambulance service. NHS ORG report, 75/14, Dec, - 1975.
31. Rutstein R. Method of planning fire cover using cost-effectiveness criteria. Fire Research Rep. N.7/75, Home Office, SAB, Jul. - 1975.
32. Rutstein R., Mytton M. G., Barnes R. J. The number of pumps required in Northampton and Northamptonshire. Fire Research Rep., N 2/75, Home Office, SAB, Febr., - 1975.
33. S h a r p I. A. System dynamics application to industrial and other system. Opnl. Res. Quart., v. 28, № 3, i, - 1977.
34. Эффективность научно-технического прогресса. — М.: Наука, - 1978.

Глава 8. Модели и методы принятия решений

Введение

Фактический круг проблем анализа решений по своей сложности и фундаментальности значительно превосходит как спектр забот ЛПР, имеющих институциональную ответственность, так и круг интересов исследователей, изучающих эти проблемы. Эффективный анализ решений, в частности, очень важен в исследованиях и разработках, вследствие необходимости рационального использования вовлеченных в них больших ресурсов, а также неопределенностей, ассоциированных с достигаемыми выходами, и наличием множества

побочных выходов, существенно влияющих на принятие решений.

В настоящей главе предлагается совокупность алгоритмов и моделей, использование которых повышает системную обоснованность принимаемых решений и, в значительной мере, снижает ограничения по рациональности решений ЛПР

Как и во всех предыдущих главах, под ЛПР понимается *личность*, находящаяся в *ситуации выбора*. Системной характеристикой ситуации выбора является наличие не менее двух альтернатив, выбор одной из которых и составляет системную сущность процесса принятия решения. Методологической основой повышения эффективности подготавливаемых решений является их логический и декомпозиционный анализ. Декомпозиция первичной решаемой проблемы на систему более простых в анализе проблем существенно облегчает прямой анализ и логическую рекомбинацию в общую аналитическую модель проблемы.

В настоящее время известен широкий спектр методов и моделей эффективного выбора альтернатив, объединяемых в рамках одной из дисциплин, входящих в состав области системного анализа называемой “Исследование операций”. Эта дисциплина именуется “Теория принятия решений” и основные положения этой теории в ее классическом варианте рассматриваются в следующем разделе.

8.1 Исходные понятия классической теории принятия решений

Любая сфера человеческой деятельности, в особенности экономика, медицина или бизнес, связана с принятием решений в условиях неполноты информации. Источники неопределенности могут быть самые разнообразные:

- неопределенность действий партнеров по бизнесу, случайные факторы, т.е. большое число обстоятельств, учесть которые не представляется возможным (например, погодные условия, неопределенность спроса на товары;

- недостаточность сведений о действиях и намерениях противника;

- неоднозначность связи наблюдаемых симптомов с истинным характером заболевания наблюдаемого больного;

- недостаточная надежность процессов производства, неточность информации и др.).

Решения с учетом перечисленных и множества других неопределенных факторов принимаются в рамках так называемой теории принятия решений – аналитического подхода к выбору наилучшего действия (альтернативы) или последовательности действий. В зависимости от степени определенности возможных исходов или последствий различных действий, с которыми сталкивается лицо, принимающее решение, в теории принятия решений рассматриваются три типа моделей:

– выбор решений в условиях определенности, если относительно каждого действия известно, что оно неизменно приводит к некоторому конкретному исходу;

– выбор решения при риске, когда каждое действие приводит к одному из множества возможных частных исходов, причем каждый исход имеет вычисляемую или экспертно оцениваемую вероятность появления;

– выбор решений при неопределенности, когда то или иное действие или несколько действий имеют своим следствием множество частных исходов, но их вероятности совершенно не известны или не имеют смысла.

Методы принятия решений в условиях риска разрабатываются и обосновываются в рамках теории статистических решений, одним

из базовых понятий которой является понятие платежной матрицы – одно из базовых понятий в теории игр. В теории

Стратегия игрока B		B_1	B_2	...	B_n
Стратегия игрока A	A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
	A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
	...	...	...	...	...
	A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}
Табл. 8.1. Матрица платежей					

игр платежная матрица используется для выбора оптимальной стратегии и для двух игроков представляется в виде таблицы 8.1, где приняты следующие обозначения:

$A_1 \dots A_m$ – стратегии игрока A ;

$B_1 \dots B_n$ – стратегии игрока B ;

a_{ij} ... a_{mn} – платежи игроков на пересечениях i – й строки и j – го столбца. Так, если игрок A выберет стратегию A_2 , а игрок B – стратегию B_n , то игрок A выигрывает (проигрывает) у игрока B сумму a_{2n} . Анализируя матрицу платежей, игрок получает возможность выбрать оптимальную стратегию, ориентируясь на максимизацию своего выигрыша или на минимизацию возможного проигрыша.

Принятие управленческих решений также предполагает наличие ситуаций выбора наиболее выгодного варианта поведения из нескольких имеющихся вариантов в условиях неопределённости. Такие задачи могут быть описаны матричными играми особого типа, в которых игрок взаимодействует не со вторым игроком, а с окружающей средой. Объективно окружающая среда не заинтересована в проигрыше игрока, однако при наступлении некоторых из ее состояний, проигрыш становится неизбежным. В процессе принятия решения о выборе варианта поведения игрок имеет информацию о том, что окружающая среда может принять одно из нескольких возможных состояний и сталкивается с неопределённостью относительно того конкретного состояния, которое примет окружающая среда в данный момент времени.

Матричная игра, в которой игрок взаимодействует с окружающей средой, не заинтересованной в его проигрыше, и решает задачу определения наиболее выгодного варианта поведения с учётом неопределённости состояния окружающей среды, называется статистической игрой или «игрой с природой». Игрок в этой игре называется лицом, принимающим решение (ЛПР). Создателем теории статистических решений считается А. Вальд.

Абрахам Вальд (1939), показал, что две центральных проблемы ортодоксальной статистической теории, а именно, статистическое испытание гипотез и статистическая теория оценивания, могли обе быть расценены как специфические специальные случаи более общей теории принятия решений. Эта работа вводила большую часть «ментального пейзажа» современной теории принятия решений, включая функции потерь, функции риска, допустимые решающие правила, априорные распределения, байесовские правила решения, и минимаксные решающие правила. Термин «теория принятия решений» непосредственно начал использоваться в 1950 году Э. Л. Леманном.

Эта теория представляет ЛПР как лицо, производящее выбор из совокупности альтернатив $A = \{a_1, a_2, ..., a_m\}$ при условии, что заданы:

1. Набор состояний окружающей среды $S = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$, факт наступления которых не поддаются управлению, но вероятности их наступлений $P = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$ известны (то есть состояние s_1 будет иметь место с вероятностью p_1 и т. д.).

2. Задана матрица платежей в терминах затрат или выигрышей V_{ij} , ассоциированных с каждой парой “альтернатива - состояние окружения”.

Если решение принимается в условиях частичной неопределенности, то, согласно теории принятия решений, статистические игры являются основным подходом. Основными отличиями статистической игры от игры стратегической являются:

- отсутствие стремления к выигрышу у игрока - «окружающей среды», т. е. отсутствие антагонистического противника;

- возможность для игрока – «ЛПР» провести статистический эксперимент для получения дополнительной информации о стратегиях природы.

Таким образом, теория статистических решений является теорией проведения статистических наблюдений, обработки этих наблюдений и их использования. В теории статистических решений основные правила могут быть детерминированными и рандомизированными.

Окружающая среда		s_1	s_2	...	s_n	Ожидаемая ценность альтернативы
Вероятности наступления		p_1	p_2	...	p_n	
Альтерн ативы	Альтернатива a_1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1n}	$E(V_i) = \sum_{j=1}^n p_j V_{ij}$
	Альтернатива a_i	v_{21}	v_{22}	...	v_{2n}	
	...	...	...	...	...	
	Альтернатива a_i	v_{m1}	v_{m2}	...	v_{mn}	

Таблица 8.2. Матрица решений статистической игры

ЛПР определяет наиболее выгодную стратегию в зависимости от целевой установки, которую он реализует в процессе решения задачи.

Результат решения задачи ЛПР определяет по одному из критериев принятия решения.

Для того чтобы прийти к однозначному и по возможности наиболее выгодному варианту решению, необходимо ввести оценочную (целевую) функцию. При этом каждой стратегии ЛПР (V_i) приписывается некоторый результат $E(V_i)$, характеризующий все последствия этого решения. Из массива i результатов принятия решений ЛПР выбирает элемент $E(V_{ij})$, который наилучшим образом отражает мотивацию его поведения.

В тех случаях, когда ЛПР известны вероятности состояний окружающей среды, применяется критерий максимального математического ожидания выигрыша. Платёжная матрица дополняется столбцом, каждый элемент которого представляет собой значение математического ожидания выигрыша при выборе соответствующей стратегии ЛПР.

Если все перечисленные выше элементы матрицы платежей заданы, то предпочтительная альтернатива может быть определена вычислением математического ожидания ценности $E(V_i)$ каждой из рассматриваемых альтернатив по формуле:

$$E(V_i) = \sum_{j=1}^n p_j V_{ij}$$

и последующим выбором альтернативы, имеющей наибольшую ожидаемую ценность

$$E(V^*) = \max_i E(V_i).$$

Термин, теперь известный как «ожидаемая ценность» (математическое ожидание ценности), был известен с 17-ого столетия. Блез Паскаль использовал этот термин в описании пари, которое содержится в его работе «Pensées», изданной в 1670 г. Идея ожидаемой ценности заключается в том, что, выбирая одно из возможных действий, можно оценить ожидаемые последствия этого выбора, когда каждое из действий может дать несколько возможных результатов с различными вероятностями. Рациональная процедура должна идентифицировать все возможные результаты, определить их ценности (положительные или отрицательные) и вероятности, затем перемножить соответствующие ценности и вероятности и сложить полученные произведения, чтобы получить в итоге «ожидаемую ценность». Выбираемое действие должно обладать наибольшей ожидаемой ценностью.

Следовательно, теория статистических решений сводит проблему анализа альтернатив к анализу содержащейся в них **мотивировки** и предлагает считать наиболее предпочтительной ту альтернативу, для которой математическое ожидание мотивировки имеет наибольшее значение. В процессе развития теории статистических решений и практики её применения было установлено, что многие ситуации выбора не

могут быть удовлетворительно описаны моделью анализа альтернатив в классической постановке вследствие множественности критериев, которые подлежат учету в этой модели. Поэтому достаточно широкое распространение получили модифицированные (или расширенные) модели анализа альтернатив.

8.2 Расширенная модель анализа альтернатив

Расширенные модели анализа альтернатив были получены на базе классической модели путем внесения следующих изменений:

- Заменой n состояний окружающей среды набором целевых показателей $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$, которые ЛПР желает достигнуть;
- 2. Заменой платежной матрицы матрицей вероятностей p_{ij} , характеризующих шансы на достижение каждого из целевых состояний при реализации каждой из исследуемых альтернатив;

- Заменой вектора вероятностей реализации состояния окружающей среды на вектор, элементами которого является относительная оценка или кардинальный ранг каждого из назначаемых целевых показателей $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$.

Таким образом, в модифицированной модели ЛПР освобождается от необходимости устанавливать количественную меру мотивировки для каждой пары “альтернатива - состояние окружения”, задавая платежную матрицу. Вместо этого он оценивает мотивировку, содержащуюся в каждой из альтернатив, на основе ожидаемого вклада этой альтернативы в достижение целей более высокого порядка, мотивировка которых задана извне в виде вектора W . Естественно, что в ряде случаев это существенно упрощает проблему для ЛПР, освобождая его от ответственности за назначение оценок мотивировки и сводя задачу просто к логическому анализу.

Оценки целевых показателей (мотивировки)		w_1	w_2	...	w_n	Ценность альтернативы $E(V_i)$
Целевые показатели		G_1	G_2	...	G_n	
Альтернативы	Альтернатива a_1	p_{11}	p_{11}	...	p_{1n}	$E(V_i) = \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j$
	Альтернатива a_2	p_{11}	p_{11}	...	p_{2n}	
	Альтернатива a_l	...	...	...	...	
	Альтернатива a_m	p_{11}	p_{11}	...	p_{mn}	

Таблица 8.3. Модифицированная матрица решений

Структура модифицированной модели представлена таблицей 8.3. В соответствии с этой моделью наиболее предпочтительной альтернативой является та, которая доставляет максимум полезности (или мотивировки):

$$E(V^*) = \max_i \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j .$$

По существу, в расширенной модели используется та же самая платежная матрица, как и классической постановке. Действительно, в обоих случаях вклад каждого ij -го элемента матрицы в ожидаемую ценность i -й альтернативы определяется произведением величины выигрыша (проигрыша) на его вероятность. Разница состоит в том, что в классической постановке вероятность наступления j -го состояния среды одинакова для всех альтернатив, а величина ij -го выигрыша (проигрыша) специфична для каждой i -й строки. В модифицированной модели наоборот – выигрыш (проигрыш) по каждому j -му целевому показателю является постоянным, а вероятность получения этого выигрыша (проигрыша) специфична для каждой i -й альтернативы.

В представленном виде таблица решений становится удобней в использовании и получила достаточно широкое распространение. Например, таблицу можно использовать для выбора наиболее вероятного заболевания из группы болезней, имеющих сходные совокупности симптомов.

Для этого:

1. В качестве альтернатив a_i рассматриваются те заболевания, при которых характерными являются наблюдаемые симптомы (гипотезы d_i);

2. В качестве целевых показателей G_j принимаются сами наблюдаемые симптомы s_j ;

3. В качестве вероятностей p_{ij} в данном применении проставляются условные вероятности того, что при i -м заболевании наблюдается j -й симптом.

В такой постановке ЛПР исходит из того, что гипотеза d_i (при решении задачи диагностики заболеваний альтернативы называют гипотезами), обладающая наибольшей ожидаемой ценностью, является наиболее вероятной. Более подробно эта процедура описана в разделе 8.3.

Таким образом, модель в классической постановке ориентирована на выбор альтернативы, обеспечивающей достижение наиболее благоприятных результатов в различных состояниях окружающей среды, наступление которых ЛПР контролировать не может. То есть, модель ориентирована, в основном, для целей анализа. Она позволяет выбрать оптимальный характер поведения в условиях неуправляемого наступления состояний окружающей среды.

А модифицированная модель ориентирована на более активный характер исследований. Она позволяет сравнивать между собой альтернативные варианты разрабатываемых конструкций, лечебных средств, организационных решений и т. д., и выбирать альтернативу, обеспечивающую выбор такой альтернативы, которая повышает вероятность дости-

жения желательных целевых показателей и снижает вероятность наступления негативных последствий принятия того или иного решения. При этом под выбором предпочтительной альтернативы может также подразумеваться выявление (распознавание) наиболее вероятной альтернативы (причины) появления некой совокупности последствий (наблюдаемых j -х признаков). Следовательно, выбор той или другой модели зависит от целей проводимого анализа.

При всей кажущейся простоте постановки применение модифицированной модели требует обязательного дополнительного рассмотрения для выбора используемых критериев оценки полезностей. Прежде всего, следует иметь в виду, что в качестве целевых показателей следует иметь в виду не только желательные результаты, достигаемые при выборе конкретной альтернативы, но и все неизбежные последствия, обусловленные этим выбором, в том числе, естественно и негативные. При этом целевые показатели (последствия) могут иметь и количественную меру.

Рассмотрим в качестве примера проблему выбора количества резервируемых коек для больных, доставляемых службой скорой медицинской помощи (СМП) в больницу скорой помощи. Госпитализация в такую больницу осуществляется из трех источников:

а) Так называемые “плановые” больные, госпитализируемые по направлениям поликлиник. Госпитализация таких больных осуществляется в определенный, заранее назначаемый день, и поддается целенаправленной регулировке.

б) Так называемый “самотёк” - это больные, обращающиеся непосредственно в больницу сами, или доставляемые родственниками или ещё кем-нибудь. Этот поток также поддается регулировке, но уже в ограниченных пределах, поскольку трудно отказать в госпитализации человеку, находящемуся действительно в плохом состоянии. Однако часть

таких больных может получить отказ по причине отсутствия свободных коек.

в) Больные и пострадавшие, доставляемые бригадой СМП, так называемые “экстренные” больные. По статусу больницы скорой помощи такие больные должны госпитализироваться в обязательном порядке, независимо от наличия или отсутствия свободных коек.

Таким образом, проблема управления коечным фондом в такой больнице состоит в оптимальном выборе количества коек, резервируемых для экстренных больных. Если это количество будет чрезмерным, то койки будут простаивать, что влечет за собой потери, связанные с нерациональным использованием ресурсов (питания, медикаментов, больничного персонала). Если резерв не выделяется или выделяется в недостаточном количестве, то больные, доставляемые бригадами СМП, будут госпитализировать с “перегрузом”, на приставных койках в коридорах и непригодных помещениях. Возникают дополнительные проблемы, связанные с перегрузкой больничного персонала, нехваткой питания, медикаментов и т. п. Сам механизм резервирования при этом реализуется достаточно просто - в поликлиники с упреждением на несколько дней сообщается количество больных, которые могут быть госпитализированы в плановом порядке. Это количество можно определять, исходя из количества больных, подлежащих выписке на этот день (вполне определенное число) за вычетом количества коек, резервируемых для экстренных больных.

Рассмотрим, в качестве примера, ситуацию, когда поток экстренных больных по наблюдению персонала имеет следующее вероятностное распределение, представленное в таблице 8.4.

Количество больных N	<2	2	4	6	8	10	>10
Вероятность поступления P_N	0	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1	0
Таблица 8.4. Распределение вероятностей поступления больных							

Для поиска оптимального решения потери, связанные с недогрузкой и с перегрузкой коечного фонда не обязательно выражать в абсолютных числах - достаточно определить их относительные значения. Пусть потери, связанные с простаиванием одной койки, равны единице, а потери, связанные с нехваткой одной койки для госпитализации экстренного больного – 1,5 единицам. Рассматривая в качестве альтернатив выделение резерва в количестве 2, 4, 6, 8, 10 коек, получим следующую таблицу 5 ожидаемых потерь, связанных с выбором каждой из альтернатив. В табл. 5 в строке “Величина дисбаланса” показана величина возможного несоответствия между выделенным резервом и реально поступившим количеством экстренных больных. То есть каждый целевой показатель G_j соответствует определенной величине дисбаланса между количеством зарезервированных коек и количеством фактически поступивших экстренных больных. Положительные числа соответствуют недогрузке, а отрицательные - перегрузке (или дефициту).

При этом нечетные количества пропущены для упрощения таблицы. Цена простаивания одной койки принята равной единице, а цена дефицита одной койки - 1,5 единицы. Отрицательный знак цены при дефиците, выражаемом в строке “Величина дисбаланса”, принят для того, чтобы величина потерь при дефиците так же выражалась положительным числом.

Элементы матрицы в пересечении строки величины резерва и колонки дисбаланса отражают вероятности возникновения такого дисбаланса. Значения этих вероятностей определены в соответствии с данными табл. 8.4. Так, например, при выборе альтернативы a_1 (резерв 2 койки) вероятность дефицита в 4 койки возникает при поступлении шести экстренных больных. Стало быть, вероятность такого события в соответствии с табл. 8.3 равна 0,2 и т. д. Проводя расчеты в соответствии с формулой

$$E(V_i) = \sum_j p_{ij} w_j G_j,$$

где G_j - величина дисбаланса, получаем результаты, приведенные в табл. 8.5 в колонке “Общие потери”.

Поскольку в данном случае оценивались не выигрыши, а потери, то, естественно, наилучшей альтернативой по критерию минимума общих ожидаемых потерь следует признать альтернативу a_3 (резерв - 6 коек).

Цена дисбаланса		1	1	1	1	0	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	Общие потери
Величина дисбаланса		2	4	6	8	0	-2	-4	-6	-8	
Резерв коек	2	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1	6,0
	4	0,1	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0,1	0	3,5
	6	0,2	0,1	0	0	0,4	0,2	0,1	0	0	2,0
	8	0,4	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0	0	0	2,5
	10	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0	4,0
Таблица 8.5											

Однако критерий максимума общего ожидаемого выигрыша (или минимума общих потерь), рассчитываемых по математическим ожиданиям, не является единственным, используемым при выборе предпочтительных альтернатив. Применение критерия максимального математического ожидания выигрыша оправдано лишь тогда, когда ситуация, в которой принимается решение, следующая:

1. ЛПР известны вероятности всех состояний окружающей среды.

2. Минимизация риска проигрыша представляется ЛПР менее существенным фактором принятия решения, чем максимизация среднего выигрыша.

Необходимость иметь информацию о вероятностях состояний окружающей среды ограничивает область применения данного критерия. Поэтому на практике применяются и другие критерии такие, как критерий Лапласа, Минимаксный (Максиминный) критерий, критерий Сэвиджа, критерий

Гурвица. Выбор того или иного критерия связан, главным образом, с той мерой риска, на которую может пойти ЛПР в той или иной ситуации.

Критерий Лапласа опирается на известный принцип недостаточного обоснования. Если вероятности разных событий не определены с достаточной достоверностью, то нет никакого основания считать что эти вероятности различаются. Стало быть, в условия неопределенности, вполне разумной является гипотеза о том, что вероятности наступления разных событий равновероятны. Тогда исходную задачу можно рассматривать как задачу принятия решений в условиях риска, когда выбирается альтернатива a_i , доставляющая наибольший ожидаемый выигрыш (или наименьшие ожидаемые потери). В этом случае предпочтительная альтернатива определяется по формулам максимизации выигрыша или минимизации потерь:

$$E(V_i^*) = \max_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_j G_j \right\} \text{. или}$$

$$E(V_i^*) = \min_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_j G_j \right\}$$

В рассматриваемом примере в соответствии с критерием Лапласа примем, что вероятность поступления экстрен-

Цена дисбаланса		1	1	1	1	0	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	Общие потери
Величина дисбаланса		2	4	6	8	0	-2	-4	-6	-8	
Резерв коек	2	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	6,0
	4	0,2	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0	4,0
	6	0,2	0,2	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0	3,0
	8	0,2	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	0	0	3,0
	10	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	4,0
Таблица 8.6											

ных больных в количестве от 2-х до 8-ми одинакова и равна 0,2. Поэтому, в таблице решений (табл. 8.5) заменяем все вероятности (в тех ячейках, где они имеют ненулевые значения) на величину 0,2 и получаем новую таблицу решений (табл. 8.6). В соответствии с данными табл. 8.6 ожидаемые величины потерь, рассчитанных по критерию Лапласа, будут иметь следующие значения:

$$E(V_1) = 0,2(3 + 6 + 9 + 12) = 6; \quad E(V_2) = 0,2(2 + 3 + 6 + 9) = 4;$$

$$E(V_3) = 0,2(2 + 4 + 3 + 6) = 3; \quad E(V_4) = 0,2(2 + 4 + 6 + 3) = 3;$$

$$E(V_5) = 0,2(2 + 4 + 6 + 8) = 4,0.$$

Из полученных результатов следует, что при использовании критерия Лапласа можно выбрать либо альтернативу ***a*₃** (резерв 6 коек), либо альтернативу ***a*₄** (резерв 8 коек). В этой ситуации разумно выбрать вариант резервирования 7 коек.

Минимаксный (максиминный) критерий является наиболее осторожным, поскольку он основывается на выборе наилучшей из наихудших (или наихудшую из наилучших) возможностей. В соответствии с этим критерием предпочтительная альтернатива выбирается исходя из соотношений

$$E(V^*) = \min_i \max_j \left(\max_i \min_j \right) w_j G_j.$$

В рассматриваемом примере применение этого критерия приводит к следующим результатам:

$$V_{1max} = V_{17} = 2,4; \quad V_{2max} = V_{26} = 1,2; \quad V_{3max} = V_{36} = V_{37} = 0,6;$$

$$V_{4max} = V_{41} = V_{42} = 0,8; \quad V_{5max} = V_{57} = 1,6;$$

Следовательно, минимаксный критерий при выбранном наборе числовых данных в качестве предпочтительной указывает альтернативу ***a*₃** (резерв 6 коек), поскольку при таком выборе обеспечивается минимальная величина наибольшей

из возможных потерь. Выбранная таким образом стратегия полностью исключает риск. Это означает, что принимающий решение не может столкнуться с худшим результатом, чем тот, на который он ориентируется. Это свойство позволяет считать минимаксный критерий одним из фундаментальных. Применение минимаксного критерия оправдано, если ситуация, в которой принимается решение следующая:

1. О возможности появления состояний окружающей среды ничего не известно;

2. Решение реализуется только один раз;

3. Необходимо исключить какой бы то ни было риск.

Однако при использовании минимаксного критерия в общем случае получаемые результаты могут оказаться нелогичными в силу чрезмерной “пессимистичности” этого критерия. Для иллюстрации этого положения рассмотрим матрицу потерь для условного примера, приведенную в таблице 8.7. В соответствии с минимаксным критерием должна быть выбрана альтернатива a_2 , доставляющая получение наименьшего значения из максимально возможных потерь. Однако совершенно очевидно, что при указанных в табл. 8.7 числовых данных альтернатива a_1 станет, несомненно, более привлекательна, поскольку реальные потери могут составить не 11 000 долл., а всего 90 долл., так что математическое ожидание общих потерь для альтернативы a_1 существенно ниже.

Поэтому, в ситуациях, подобных рассмотренному условному примеру, для “исправления” чрезмерной “пессимистичности” минимаксного критерия предпочтительно использовать

критерий Сэвиджа (критерий минимального риска). В слу-

Ситуации		G_1	G_2
альтернативы	a_1	11000 долл.	90 долл.
	a_2	10000 долл.	10000 долл.
Таблица 8.7			

чае использования критерия минимаксного риска Сэвиджа величина $a_{\max j} - a_{ij}$, где $a_{\max j}$ – максимальный элемент j -го столбца, может быть интерпретирована как дополнительный выигрыш, получаемый в условиях состояния окружающей среды S_j . Или как вклад в достижение показателя G_j при выборе ЛПР наиболее выгодной стратегии, по сравнению с выигрышем, получаемым ЛПР при выборе в тех же условиях любой другой стратегии. Эта же разность может быть интерпретирована как величина возможного проигрыша при выборе ЛПР i -й стратегии по сравнению с наиболее выгодной стратегией.

На основе данной интерпретации разности выигрышей производится определение наиболее выгодной стратегии по критерию минимаксного риска. Таким образом, *критерий Сэвиджа* “исправляет” положение введением новой матрицы потерь, в которой значения потерь $L(a_i, G_j)$ заменяются значениями “приведенных” потерь $L^*(a_i, G_j)$, вычисляемых следующим образом:

$$L^*(a_i, G_j) = \max_{a_k} L(a_k, G_j) - L(a_i, G_j), \text{ если } L - \text{выигрыш,}$$

$$L^*(a_i, G_j) = L(a_i, G_j) - \min_{a_k} L(a_k, G_j), \text{ если } L - \text{потери.}$$

В соответствии с критерием Сэвиджа для условного примера имеем:

$$L(a_1, G_1) = 11000\$ - 10000\$ = 1000\$; \quad L(a_1, G_2) = 90\$ - 90\$ = 0;$$

$$L(a_2, G_1) = 10000\$ - 10000\$ = 0; \quad L(a_2, G_2) = 10000\$ - 90\$ = 9910\$.$$

и теперь альтернатива a_1 выглядит заведомо предпочтительней, поскольку максимальные приведенные потери для альтернативы a_2 составляют 9910 долл. По существу, матрица $L(a_i, G_j)$ выражает как бы “сожаление” ЛПР, по поводу того, что он не выбрал наилучшую альтернативу. Потому функцию $L(a_i, G_j)$ называют *матрицей сожаления*. Ситуация, в

которой оправдано применение критерия Сэвиджа, аналогична ситуации минимаксного критерия, однако наиболее существенным в данном случае является учёт степени воздействия фактора риска на величину выигрыша.

Еще большей гибкостью обладает *критерий Гурвица*, который охватывает ряд различных подходов к принятию решений: от наиболее оптимистичного до наиболее пессимистичного. *Критерий Гурвица* устанавливает баланс между случаями крайнего оптимизма и крайнего пессимизма взвешиванием обоих способов поведения введением соответствующих весов α и $1 - \alpha$, где α принимает значение $0 \leq \alpha \leq 1$. Если $L(a_i, G_j)$ представляет выигрыш, то наилучшая из альтернатив выбирается в соответствии с выражением:

$$E(V_i^*) = \max_{a_i} \left\{ \alpha \max_{G_j} L(a_i, G_j) + (1 - \alpha) \min_{G_j} L(a_i, G_j) \right\}.$$

А в том случае, когда $L(a_i, G_j)$ представляет потери, для выбора наилучшей альтернативы используется выражение

$$E(V_i^*) = \min_{a_i} \left\{ \alpha \min_{G_j} L(a_i, G_j) + (1 - \alpha) \max_{G_j} L(a_i, G_j) \right\}.$$

Параметр α выбирается как показатель оптимизма: при $\alpha=1$ критерий получается чрезмерно оптимистичным; при $\alpha=0$ он чрезмерно пессимистичен. Значение α между 0 и 1 может определяться в зависимости от склонности ЛПР к риску и от абсолютного уровня ожидаемого выигрыша или потерь. Как правило, чем большее значение имеет ожидаемая величина выигрыша или потерь, тем меньшую склонность к риску проявляет практически любой ЛПР.

Оба из рассмотренных классов моделей имеют достаточно серьезные ограничения в смысле адекватного отображения, как ситуации выбора, так и полноты оценки ожидаемых последствий этого выбора. Так, в классическом вариан-

те элементами платежной матрицы являются выигрыши (проигрыши), оцениваемые единственным показателем. Этого может быть достаточно в простейших, например в игровых ситуациях, если под выбором альтернативы подразумевается выбор очередного хода, а под состоянием окружающей среды понимается ожидаемый ход противника. Тогда выигрыш в шахматах – это предпочтительность достигнутой позиции, степень которой может быть оценена количественно. Выигрыш в покере – вероятность получения (или потери) определенной суммы денег и т. п.

Но совсем иная ситуация возникает при оценке предпочтительности альтернативного организационного решения. В сколь-нибудь серьезных ситуациях любое решение влечет за собой несколько значительных последствий как позитивных, так и негативных. Конечно, ожидаемая ценность комплексного исхода может быть определена путем введения рангов полезностей для каждого из исходов и последующего суммирования. Однако адекватность такой оценки во многих случаях может оказаться недостаточной.

С этой точки зрения использование расширенной модели представляется предпочтительным. В платежной матрице в табл.8.3 предполагается оценка всех ожидаемых последствий G_j путем введения соответствующих рангов. Этот подход является более конструктивным, особенно, если при составлении перечня ожидаемых последствий не забывают и о негативных. А вероятность такого неучёта довольно велика. В известной мере это связано с тем, что последствия в рассматриваемой таблице решений именуется целями. Естественно предположить, что оценивая вероятность достижения ряда важных целей можно выпустить из виду, что достижение любой из них может повлечь за собой реализацию нежелательных последствий.

Серьезным недостатком расширенной модели является то обстоятельство, что ожидаемая значимость (полезность)

любой из намеченных целей по существу оценивается только для одного состояния окружающей среды. Причем для этого состояния нет сформулированного описания. Между тем, значимость каждой из целей может значительно изменяться при изменении состояния окружающей среды. Даже если не забыты вероятные негативные последствия, то оценки их значимости могут кардинально измениться при наступлении определенных состояний среды.

Существует возможность объединения описанных моделей обоих классов в одну интегрированную модель, которая обладала бы достоинствами обеих моделей и, в то время, позволяла бы избавиться от недостатков, присущих каждой из них. с этой целью предлагается использовать модель с трехмерной матрицей решений, структура которой представлена на рис. 8.1.

Предлагаемая модель представляет ЛПР как лицо, производящее выбор из совокупности альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ при условии, что заданы:

А л т е р н а т и в ы	a_1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1n}
	a_2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2n}
	...	...	...	...	...
	a_m	p_{m1}	p_{m2}	...	p_{mn}
	Исходы	G_1	G_2	...	G_n

Рис. 8.1 Трехмерная матрица решений

1. Набор состояний окружающей среды $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$, факт наступления которых не поддаются управлению, но вероятности их наступлений $P = \{p_1^S, p_2^S, \dots, p_k^S\}$ известны (то есть состояние s_1 будет иметь место с вероятностью p_1 и т. д.).

2. Задана совокупность N возможных исходов $G_1, G_2, \dots, G_j$. При этом $1 \leq j \leq N$.

3. Задана матрица вероятностей p_{ij} того, что выбор i -й альтернативы приведет к j -му исходу. Исходы могут быть как взаимонезависимыми, так и связанными между собой определенными зависимостями. Это обстоятельство учитывается при оценке вероятностей p_{ij} . Позитивные исходы могут трактоваться как цели, для достижения которых и производится выбор наилучшей альтернативы. Негативные исходы отображают факт реализации возможных негативных последствий.

4. Задана матрица платежей в терминах затрат или выигрышей w_{jk} , ассоциированных с каждой парой “исход - состояние окружения”.

В ситуациях, когда нет необходимости учитывать различные состояния окружающей среды, то есть, либо это состояние не оказывает существенного влияния, либо маловероятны заметные изменения этого состояния, модель, представленная на рис. 8.1, сводится к двумерной модифицированной матрице решений, представленной таблицей 8.3.

Ценность каждой i -ой альтернативы при k -ом состоянии окружающей среды определяется соотношением:

$$V(A_{ik}) = \sum_{j=1}^N p_{ij} w_{jk} \quad (8.1)$$

Лучшей альтернативой является та, которая обладает наибольшей ожидаемой ценностью. В ситуации, когда подразумевается, что каждая из анализируемых альтернатив заведомо приводит лишь к одному из исходов, трехмерная матрица решений сводится к двумерной матрице статистической игры, представленной таблицей 8.2. На рис. 8.1 эта матрица отображена в плоскости XZ .

В качестве выбираемых альтернатив в этом случае рассматриваются ожидаемые исходы, а элементы матрицы платежей, которые в табл. 8.3 обозначаются V_{ij} , в матрице на рис. 8.1 обозначены как w_{jk} . Наилучшей альтернативой в этой ситуации является та, выбор которой доставляет исход G_j , имеющий наибольшую ожидаемую ценность. Ожидаемая ценность каждого из исходов может быть определена из соотношения:

$$V(G_j) = \sum_{k=1}^L p_k^s w_{jk} \quad (8.2)$$

Таким образом, трехмерная матрица на рис. 8.1 представляет совокупность LN двумерных матриц. При этом L матриц, отображаемых в плоскости XY , являются модифицированными матрицами решений, а N матриц, отображаемых в плоскости YZ , являются матрицами статистической игры.

Эта особенность трехмерной матрицы придает ей свойство универсальности, поскольку позволяет более полно прогнозировать как ожидаемый выигрыш при выборе той или иной альтернативы, так и степень тяжести сопутствующих ей негативных последствий. Например, ожидаемая ценность каждой из анализируемых альтернатив можно оценить из соотношения:

$$V_{\Sigma}(A_i) = \sum_{k=1}^L V(A_{ik}) \quad (8.3)$$

В предлагаемом виде трехмерная матрица может использоваться для анализа и выбора во множестве сложных ситуаций. Например, при решении задач диагностики в качестве альтернатив A_i выбираются альтернативные диагностические гипотезы. В качестве исходов G_j – набор симптомов присущих совокупности конкурирующих диагностических гипотез. Элементами платежной матрицы a_{ij} являются априорные вероятности того, что данный j -й симптом указывает на наличие i -го заболевания. В качестве факторов состояния окружающей среды S_l могут использоваться такие важные аспекты как наличие сопутствующих заболеваний, ранее перенесенные заболевания, общее состояние организма (истощенность и т. п.), возрастная группа и т. д.

Для факторов, наличие которых известно достоверно (например, возрастная группа,), значения вероятностей p_i^S принимаются равными единице. Для факторов, наличие которых лишь предполагается, проставляются соответствующие оценки этих вероятностей. Значения показателей диагностической значимости симптомов w_{il} выбираются с учетом наличия существенных факторов S_l . В качестве таковых могут использоваться также показатели степени проявления того или иного симптома (слабо, заметно, значительно, ярко выражено). Ясно, что более детальный учет этого обстоятельства может существенно повысить достоверность получаемых оценок.

8.3 Модель принятия решения при детерминированных показателях ценностей

Использование вероятностных показателей в классической или в модифицированной моделях достаточно оправдано лишь тогда, когда речь идет о выборе многократно повторяющихся действий. В этом случае оценка ожидаемого результата по математическим ожиданиям на практике в конечном итоге будет подтверждена усредненными результатами, полученными после многократных повторений одного и того же действия. Если же речь идет об однократном выборе, то использование вероятностных оценок становится малооправданным и может привести к значительным разочарованиям в таких случаях, когда ЛПР, выбирая некое действие, сулящее по вероятностным оценкам положительный результат с вероятностью 0,9, в итоге, все-таки, получает отрицательный результат, вероятность появления которого оценивалась как 0,1.

Кроме того, в большинстве случаев, когда решение касается неких административных действий, а в качестве ЛПР выступает, не владеющий в достаточной мере основными положениями теории вероятностей, то в силу его профессиональной подготовки и психологической ориентации, анализ альтернатив на основе вероятностных оценок не будет для него носить убеждающий характер. В этой, и во многих других подобных ситуациях, может использоваться модель принятия решений, в которой вероятностные оценки ожидаемого результата заменены детерминированными (балльными) оценками вклада каждого из параметров анализируемой ситуации в тот или иной ожидаемый результат. А полезность каждого из возможных результатов также оценивается балльной оценкой, присваиваемой экспертами. Условный пример таблицы решений по выбору кандидатуры на должность руководителя отдела НИОКР, построенной на основе такой модели, представлен в табл. 8.8.

Рассматривается пример выбора кандидата из шести претендентов на эту должность, предложенных различными

Альтернативы	Целевые показатели G_j				Суммарная оценка Q
	Проф.подготовка	Ученая степень	Способн. к руков.	Авторитет в коллект.	
	4	3	5	5	
A1	4	0	5	4	61
A2	5	5	3	4	70
A3	4	3	4	4	65
A4	5	0	5	3	60
A5	3	0	4	4	52
Таблица 1. Матрица с балльными оценками					

группами специалистов и руководителей. В качестве целевых показателей, характеризующих потенциальные возможности претендента, выбраны: профессиональная подготовка, наличие ученой степени, способность к руководству, авторитет в коллективе. Значимость (важность) каждого из показателей получила экспертную балльную оценку по пятибалльной шкале. При этом относительно низкая значимость наличия ученой степени связана с тем, что речь идет об административной должности руководителя практического учреждения и на этой должности наличие ученой степени, по мнению экспертов, не играет решающей роли. Сама балльная оценка ученой степени имела следующие значения: доктор технических наук - 5 баллов, кандидат технических наук - 3 балла, отсутствие ученой степени - 0 баллов. Расхождение между оценкой профессиональной подготовки и наличием ученой степени кандидата наук по кандидатуре A3 эксперты объяснили тем, что диссертация последнего посвящена весьма узкой специфичной проблеме и наличие повышенного уровня знаний по этой теме не даст заметного вклада в профессиональный уровень подготовки, необходимый для руководства широкопрофильным отделом.

Представленная таблица решений (табл. 8.8.), основанная на балльных оценках, в силу своей простоты и наглядности, получила достаточно широкое распространение. Так, например, в условиях тоталитарного административного режима, подобные системы широко использовались для подведения итогов социалистического соревнования. Такими соревнованиями были охвачены практически все трудовые коллективы: фабрики и заводы, рудники и шахты, сельхозартели и больницы, студенческие группы и даже театральные коллективы. И при таком “поголовном” охвате наиболее ярко проявился один из основных недостатков балльной системы - неэффективность используемых методов получения адекватной результирующей оценки.

Как правило, для получения результирующей оценки используются два подхода - аддитивный и мультипликативный. При аддитивном способе, который и был использован в табл. 8.8., суммарная оценка Q получается на основе формулы

$$Q = \sum_j a_{ij} b_j ,$$

где a_{ij} - балльная оценка i -й альтернативы по j -му показателю; b_j - балльная оценка значимости j -го показателя.

При использовании аддитивного подхода желание ввести как можно больше целевых показателей с тем, чтобы обеспечить более обоснованную основу для выбора, оборачивается тем, что сумма второстепенных показателей может оказаться настолько значительной, что роль основного показателя может попросту утонуть. Так, например, в рассматриваемой ситуации (выбор кандидатуры на руководящую должность), в прошлом вводились такие показатели как стабильность семейных отношений (отсутствие разводов), членство в КПСС (игравшее весьма важную роль), национальная принадлежность и т. п. В результате суммирования

таких показателей кандидатура, выбранная по табл. 8.8., могла бы оказаться не самой достойной.

Но и при отсутствии таких, явно не существенных в рассматриваемой ситуации, показателей, достаточным оказался учет одного – наличие ученой степени, чтобы вывести на первое место кандидатуру A_2 . И, хотя эксперты оценили значимость этого показателя наименее высоким, тем не менее, кандидатура A_2 , получив за счет этого дополнительных 15 баллов вышла на первое место. Между тем, без учета этого показателя данная кандидатура заняла бы место не выше предпоследнего. Таким образом, аддитивный подход чреват опасностью «засорения» таблицы решения второстепенными показателями, учет которых может привести к заметному искажению результатов ранжировки альтернатив.

От этого недостатка свободен мультипликативный подход, при использовании которого результирующая оценка F определяется на основе следующего соотношения:

$$F = \prod_j a_{ij} b_j .$$

При мультипликативном подходе в значительной мере ослабляются “шумовые” помехи, создаваемые второстепенными показателями, зато резко возрастает роль отдельных, пусть и незначительных показателей, по которым та или иная альтернатива имеет низкие оценки. По существу, при мультипликативном подходе каждый из показателей приобретает “право вето”, поскольку нулевая оценка по любому из показателей для какой-нибудь альтернативы приводит к нулевой оценке её полезности, независимо от высоких оценок по другим показателям. Так нулевая оценка по показателю “Членство в КПСС” при рассмотрении кандидатур на руководящую должность зачастую зачеркивала многие достоинства рассматриваемой кандидатуры и если из этого всеобщего

правила и бывали исключения, то они лишь подчеркивали его неизбежность.

Определенные ослабление недостатков, присущих обоим рассмотренным подходам может быть достигнуто при использовании комбинированного подхода. В нём хорошо сочетаются преимущества как аддитивного, так и мультипликативного подходов. При комбинированном подходе результирующая оценка Θ получается на основе следующего соотношения:

$$\Theta = \prod_j \delta(\varphi_j - \varphi_j^0) \sum_j a_{ij} \varphi_j ,$$

$$\text{где } \delta(\bullet) = \begin{cases} 1 & (\bullet) \geq 0 \\ 0 & (\bullet) \leq 0 \end{cases}$$

φ_j - значимость j -го целевого показателя; φ_j^0 - “пороговое” (минимально допустимое) значение этого показателя, при котором альтернатива сохраняет шансы быть выбранной.

Однако при любом из рассмотренных подходов к получению результирующей оценки сохраняется недостаток системы с фиксированными (бальными) оценками состоящий в том, что для экспертов затруднительным является проставление объективной оценки значимости целевых показателей при одновременном рассмотрении всей их совокупности. Считая каждый из целевых показателей достаточно важным, эксперты обычно стремятся каждому из целевых показателей дать возможно более высокую оценку (как это видно, например в табл. 8.8), не воспринимая при этом, что тем самым они сглаживают различия между альтернативами и притупляют дифференцирующие возможности таблицы решений.

Вследствие этой особенности модели с фиксированными бальными оценками возможна такая ситуация, когда ран-

жировка, полученная на основе таблицы решений, не соответствует уже имеющемуся мнению об относительной ценности сравниваемых альтернатив. Так, например, кандидатура А2, получившая наибольшее количество баллов в табл.8.8., может считаться, по мнению тех же экспертов, в целом менее предпочтительной кандидатурой, нежели кандидатура А3, уступающая кандидатуре А2 пять баллов (разница в 7 %). В этом случае возможны три выхода:

1. Можно внимательно пересмотреть балльные оценки обоих кандидатов на должность на предмет того, нет ли у кого-нибудь из них завышенной или, наоборот, заниженной оценки;

2. Можно пересмотреть балльные оценки значимости целевых показателей и откорректировать их так, чтобы результат, получаемый из таблицы решений, не противоречил бы имеющемуся устойчивому представлению об относительной ценности сравниваемых альтернатив. Такой прием особенно полезен, если на основе таблицы решений предстоит делать неоднократный выбор среди нескольких совокупностей однородных по характеру альтернатив.

В этом случае первый выбор осуществляется на группе, ранжировка в которой уже проведена и проверена. Тогда корректировка балльных оценок значимости целевых показателей в направлении того, чтобы результат, получаемый из таблицы решений, совпадал бы с результатом предварительного ранжирования означает ни что иное, как *настройку* или *обучение* модели. Настроив модель на получение правильных результатов на известной группе альтернатив, резонно рассчитывать на то, что и на группе альтернатив с неясной ранжировкой модель приведет к правильным результатам.

3. И, наконец, можно по двум (или по трем) альтернативам, занявшим в таблице первые места, провести дополнительное рассмотрение (“второй тур голосования”), введя, например, в рассмотрение некоторые дополнительные целевые показатели.

Отдельное существенное замечание следует учитывать при выборе шкалы балльных оценок. Во многих случаях эксперты, не задумываясь, используют пятибалльную шкалу (школьная привычка!), которая обладает серьезными недостатками. Во-первых, «пятибалльная» по форме шкала, на практике, сплошь и рядом, превращается в трехбалльную. Так, оценивая значимость целевых показателей, эксперты ни по одному из них не выставят оценки «1» или «2» - действительно, зачем бы учитывать показатель, имеющий столь низкую значимость?

Во-вторых, если даже оценки «1» и «2» и проставляются, то мало кто задумывается, что «2» больше чем «1» в два раза, а «3» больше чем «2» всего в полтора раза, «4» больше «3» в 1,33 раза, а «5» больше «4» всего в 1,25 раза. Эксперт обычно трепетно выбирает между оценками «4» и «5» и не обращает внимания на разницу между оценками «1» и «2» (все равно плохо!). Но ведь все эти оценки входят множителями отдельных слагаемых и переход от «1» к «2» гораздо сильнее влияет на итоговую оценку, чем переход от «4» к «5».

А в общем случае, если таблица решений с фиксированными балльными оценками приводит к недостаточно убедительным результатам, то целесообразно применить таблицу решений, основанную на попарном выборе альтернатив, которая позволяет выявить более тонкие различия между показателями и альтернативами и, поэтому, в ряде случаев приводит к более убедительным результатам.

8.4 Таблица решений с попарным сравнением альтернатив

Работа с таблицей принятия решений при попарном сравнении разделяется на два этапа. На первом этапе ЛПР производит попарное сравнение важности целевых показателей, на основе которых предусматривается проведение анализа альтернатив по их потенциальной полезности. Для по-

парного сравнения целевых показателей ЛПП вначале должен предварительно их проранжировать без использования количественных оценок. Вернемся к примеру, приведенному в табл. 8.9. Пусть по экспертным оценкам целевые показатели расположились в следующем порядке (по убыванию их значимости):

1. Профессиональная подготовка;
2. Способность к руководству;
3. Авторитет в коллективе;
4. Наличие ученой степени.

Далее, для получения количественной меры, попарное сравнение этих показателей производится в следующем порядке. Из составленного списка последовательно выбирают пары для сравнения показателей: первого со вторым, второго с третьим, третьего с четвертым. Первому показателю в паре приписывается произвольное “круглое” число, например, 1000. А второму показателю приписывается число, отражающее, по мнению ЛПП, значимость второго в паре показателя по отношению к первому. В итоге может быть получена таблица попарных сравнений, приводимая ниже. Теперь, на основе этой таблицы, могут быть подсчитаны относительные значимости каждого целевого показателя по отношению к соседнему более низкому по уровню показателю.

- | | |
|--------------------------------|--------|
| 1. Профессиональная подготовка | - 1000 |
| 2. Способность к руководству | - 850 |
| 2. Способность к руководству | - 1000 |
| 3. Авторитет в коллективе | - 700 |
| 3. Авторитет в коллективе | - 1000 |
| 4. Наличие ученой степени | - 300 |

Для этого самому последнему по итогам предварительного ранжирования показателю присваивается балл 1,00. Балл соседнего по уровню более значимого показателя определяется путем умножения балла более низкого по значимо-

сти показателя на отношение этих показателей. Продолжая

Целевой показатель	Отношение	Ненормированный вес	Нормированный вес
1. Профессиональная подготовка	1,18	5,62	38,21
2. Способность к руководству	1,43	4,76	32,36
3. Авторитет в коллективе	3,33	3,33	22,63
4. Ученая степень		1,0	6,80
	Σ	14,71	100,00

Таблица 8.9. Ранжировка значимости показателей

цепочку вычислений, получают значения абсолютных оценок показателей, которые в табл. 8.9. приведены в столбце “Ненормированный вес”. Далее, определив сумму ненормированных показателей (в данном случае равную 14,71), нормируют показатели к выбранному числу : 1, 100 и т. п. Наиболее часто используются при этом показатели 1 и 100.

После того, как на основе попарного сравнения были получены балльные оценки значимости всех целевых показателей, по аналогичной методике проводится попарное сравнение претендентов по каждому из целевых показателей. То есть, составляется столько таблиц попарного сравнения, сколько назначено целевых показателей. В рассматриваемом случае таких таблиц надо составить четыре. Далее, в сводной таблице решений в качестве балльных оценок каждого из претендентов проставляются баллы, которые в четырех таблицах дифференцированного попарного сравнения претендентов по каждому из целевых показателей были получены в столбцах “Нормированный вес”. И окончательная оценка каждой из альтернатив вычисляется по формуле

$$E(V_i) = \sum_j a_{ij}^* b_j^*,$$

где a_{ij}^* - нормированный вес i -й альтернативы по j -му целевому показателю; b_j^* - нормированный вес j -го целевого показателя.

Таким образом, модель с попарным сравнением альтернатив стимулирует ЛПР к более тщательному и обоснованному сравнению альтернатив. Действительно, из табл. 9 видно, что показатель «Ученая степень» уступает по значимости первому показателю почти в семь раз. Понятно, что получить такую степень дифференциации при использовании пяти-балльной шкалы невозможно. Кроме того, при большом количестве альтернатив и показателей (до десяти и более) процедура попарного сравнения существенно упрощает для ЛПР в психологическом аспекте проблему получения обоснованных оценок, как по ранжированию целевых показателей, так и по окончательному выбору альтернатив.

8.5. Модель принятия решений в условиях неопределенности критериев

Присвоение балльных оценок то ли непосредственно объектам или их свойствам, то ли на основе попарного их сравнения становится в ряде случаев весьма затруднительным, когда речь идет о таких свойствах и показателях, по отношению к которым использование количественной меры оказывается весьма затруднительным. Несложно, например, оценить в баллах питательность того или иного блюда, но как оценить его вкус? Или, возвращаясь к примеру, рассмотренному в предыдущем разделе, как оценить в баллах такой показатель как авторитет в коллективе? Можно приводить множество примеров, в которых использование количественных оценок представляет большое затруднение при выборе решения и для таких ситуаций разработана модель принятия решений в условиях неопределенных критериев.

Модель является дальнейшим развитием метода попарных сравнений. Она базируется на том предположении, что

рассматривая любую пару объектов в отношении какого-либо свойства, субъект в большей части случаев может выделить тот из объектов, в котором это свойство выражено более сильно, более устойчиво, более весомо и т. п. сколь бы неопределенным это свойство ни было само по себе. Например, из двух вариантов дизайна автомобиля субъект с определенностью выберет более привлекательный. Столь же определенно он выберет розу, обладающую более сильным и, более того, более приятным ароматом. Словом не прибегая ни к каким количественным оценкам, субъект по отношению к совершенно нечетко выраженным свойствам способен при попарном сравнении предпочесть один объект другому, либо, не найдя ощутимой разницы, заявить, что два сравниваемых объекта по такому-то показателю одинаковы (равнозначны).

Таким образом, при использовании качественных сопоставительных оценок одного объекта (или свойства) относительно другого достаточно квалифицированный и добросовестный эксперт не отвлекается на формальный подсчет очков (баллов), множество которых заслоняет общую картину. Эксперт оценивает один объект относительно другого по какому-либо показателю в целом по всей совокупности частных параметров, влияющих на уровень этого показателя и плохо поддающихся формализации. Если при этом ЛПР затрудняется в выборе предпочтения, то он может ставить оценку “одинаково”, но если, по его мнению, один объект по сравниваемому показателю слегка или заметно превосходит другой объект, то ЛПР сумеет это обосновать и выделит именно те дополнительные неформальные признаки, на которые он опирался в своей оценке. Методологической основой для обработки результатов сопоставительных оценок, как и в предыдущей модели, является метод попарного сравнения.

Этот метод значительно упрощает процедуру ранжирования объектов или их признаков, поскольку при каждом ак-

те сравнения сопоставляются лишь два объекта (или признака) и задачей ЛПР является *качественная* оценка того, какой из них является более предпочтительным (важнее, сильнее, полезнее, ярче выражен и т. п.) по отношению к другому. Однако, в отличие от модели, описанной в предыдущем разделе, объекты (признаки) сравниваются не по последовательно ранжированным парам, а *каждый* объект (признак) с *каждым* другим объектом (признаком).

Показатели	Хирургич. риск	Длительн. лечения	Длительн. реабилит.	Риск инвалидн.
Хирургический риск	1	9	7	5
Длительность лечения	1/9	1	1/5	1/7
Длительность реабилитации	1/7	5	1	1/7
Риск инвалидности	1/5	7	7	1

Таблица 8.10. Попарное сравнение показателей по значимости

В результате такого попарного сравнения *каждого* с *каждым* заполняется квадратная матрица вида, представленного в табл. 8.10, где приведен условный пример оценок значимости целевых показателей при выборе стратегии лечения из нескольких альтернатив: двух вариантов хирургического вмешательства и двух курсов консервативного лечения. В качестве целевых показателей приняты следующие: минимальный риск неудачного исхода при хирургическом вмешательстве (Хирургический риск), длительность лечения в стационаре (Длительность лечения), длительность реабилитационного периода (Длительность реабилитации) и минимальный риск получения пожизненной инвалидности (Риск инвалидности).

При попарном сравнении целевых показателей по их важности ЛПР выражает свою оценку в таких качественных

терминах как *одинаков* (по важности, значимости, полезности), *слегка* превосходит (уступает), *заметно* превосходит (уступает), *значительно* превосходит (уступает), *абсолютно* превосходит (уступает) по отношению к сравниваемому показателю.

Интенсивность относительной важности	Определение
1	равная важность
3	Умеренное превосходство одного над другим
5	существенное или сильное превосходство
7	значительное превосходство
9	очень сильное превосходство
2-4.6.8	промежуточные решения между двумя соседними суждениями
Обратные величины приведенных выше чисел	если при сравнении одного параметра с другим получено одно из вышеуказанных чисел, то при сравнении второго параметра с первым получим обратную величину
Таблица 8.11. Шкала относительной значимости	

Далее, качественные оценки заносятся в матрицу попарного сравнения в виде количественных оценок, в соответствующих шкале относительных важностей, приведенной в табл. 8.11, то есть, имеющих следующие значения: *одинаков* → 1; *слегка* → 3, (1/3); *заметно* → 5, (1/5); *значительно* → 7, (1/7); *абсолютно* → 9, (1/9).

При этом целые числа соответствуют ситуации, когда первый из сравниваемых объектов, записанный в строке, (признаков) превосходит, а дробные - уступает по значимости (полезности) второму, записанному в столбце. Так число 9, проставленное вторым в первой строке, означает, что, по мнению ЛПР, *абсолютно* более важным является проблема минимизации хирургического риска по сравнению с длительностью стационарного лечения.

На первый взгляд может показаться, что это те же самые баллы. Однако это не так, ибо эксперт действительно выражает свое мнение именно в *качественном* виде, а уж потом эта оценка кодируется в *числовую* форму. Кстати, если эта модель реализована в виде компьютерной программы, то ЛПР об этом числовом коде может и не знать, если диалог построен так, что воспринимает от ЛПР именно качественную оценку, вводимую в текстовом виде. Кроме того, значения числовых кодов, используемые в дальнейших вычислениях, выбраны не случайно, а на основе экспериментальных наблюдений. Экспертов просили оценить в качественном виде, какой из двух разно удалённых источников света выглядит ярче (одинаково, слегка, заметно, значительно, абсолютно) и после обработки результатов оказалось, что качественные оценки хорошо ложатся на числовую последовательность дистанций удаления: 1, 3, 5, 7, 9.

Таким образом, в основе описываемого подхода положена гипотеза о том, что по отношению к другим наблюдаемым признакам ЛПР воспринимает разницу между оценками “слегка”, “заметно”, “значительно” и т. д. так же, как и по отношению к оценке яркости источников, удаленных на разные расстояния. Верна эта гипотеза или нет, точнее - в каких ситуациях она верна, а в каких малоприменима - это вопрос другой. Самое главное, что указан конкретный базис, выбранный для количественной кодировки качественных оценок. А раз он известен, значит всегда можно проанализировать правомочность его применения и, при необходимости, заменить на другой.

После заполнения матрицы попарных сравнений вектор нормированных оценок, определяющий ранги всех сравниваемых целевых показателей, может быть вычислен путем решения матричного уравнения

$$[\mathbf{A} - \lambda_{\max} \mathbf{E}] \mathbf{w} = 0,$$

где $\mathbf{A}$ - матрица оценок попарных сравнений;

$\lambda_{\max}$ - наибольшее собственное значение матрицы $\mathbf{A}$;

$\mathbf{E}$ - единичная матрица;

$\mathbf{w}$ - собственный вектор матрицы $\mathbf{A}$, соответствующий наибольшему собственному значению.

Существенным достоинством определения вектора оценок на основе указанного матричного уравнения является то обстоятельство, что значение $\lambda_{\max}$ является хорошим индикатором согласованности оценок. Если это значение лишь слегка превышает сумму единиц, находящихся на главной диагонали матрицы сравнений, значит, введенные оценки достаточно согласованы. Если же это значение заметно превышает указанную сумму, то это указывает на необходимость пересмотра оценок с целью выявления возможных ошибок и обеспечения должной согласованности.

Описываемый подход позволяет получать и групповые оценки. При групповой оценке участвующие в процедуре оценки ЛПР проставляют свои оценки в матрицы попарных сравнений независимо друг от друга. Далее на основе полученных оценок формируется обобщенная матрица оценок, элементы которой определяются на основе соотношения

$$a_{ij} = \exp\left(\frac{1}{k} \sum_k \ln a_{ijk}\right),$$

где k - общее число ЛПР, участвующих в процедуре оценки;

a_{ijk} - сопоставительная оценка значимости показателя i по сравнению с показателем j , выставленная k -м ЛПР.

На основе полученной обобщенной матрицы путем решения матричного уравнения определяется вектор оценок весомости показателей $\mathbf{w}^*$, в соответствии с которым производится их ранжирование. Далее осуществляется попарное сравнение альтернатив по каждому целевому показателю по-

очередно. В итоге формируется столько матриц, сколько выбрано целевых показателей.

Пример такой матрицы попарного сравнения альтернатив по показателю “Риск инвалидности” при выборе из четырех методов лечения (Хирургический 1, Хирургический 2, Консервативный 1, Консервативный 2) приведен в табл. 8.12.

Альтернативные методы лечения	Хирургич. вариант 1	Хирургич. вариант 2	Консерват. вариант 1	Консерват. вариант 2
Хирургический_1	1	5	9	7
Хирургический_2	1/5	1	3	5
Консервативный_1	1/9	1/3	1	1/3
Консервативный_2	1/7	1/5	3	1
Таблица 8.12. Сравнение альтернатив по показ. «Риск инвалидности»				

В итоге такого попарного сравнения формируются матрицы, на основе которых определяются вектора оценок W_j по числу выбранных целевых показателей (j - номер показателя). Из этих векторов образуется матрица W , элементы которой соответствуют нормированному рангу i -й альтернативы по j -му показателю. Далее, в соответствии с вектором оценок W_Σ , определяемым из соотношения

$$W_\Sigma = W^* W,$$

производится окончательное ранжирование альтернатив.

Полученные при этом показатели рангов позволяют четко выделить альтернативу, обладающую преимуществом по всей совокупности присущих ей показателей, сколь бы неопределенными ни были критерии их оценки. При использовании этой модели маловероятна ситуация, когда ранжировка, полученная из таблицы решений, противоречила бы предварительному представлению об относительной ценно-

сти альтернатив, как это случается при использовании модели с фиксированными балльными оценками. Тем не менее, остается еще один недостаток, присущий и этой модели и, тем более всем предыдущим.

Во всех уже рассмотренных моделях мера значимости (полезности) целевых показателей устанавливается фиксированной и независимой от достигаемой величины этого показателя. Но, в общем случае, это не всегда так. Например, выбирая автомобиль по совокупности двух показателей - достигаемая скорость и цена, ЛПР, скорее всего, предпочтет автомобиль с достижимой скоростью 150 км/час автомобилю с предельной скоростью 110 км/час, если даже первый автомобиль заметно дороже первого. Но, вряд ли, он захочет платить весьма завышенную цену за автомобиль, предельная скорость которого 400 км/час, поскольку реализовать это преимущество в скорости в нормальных условиях невозможно. Кроме того, на этом условном примере ясно видна необходимость введения дополнительного показателя - расход бензина. Ясно, что для автомобиля с супермощным двигателем повышенный расход бензина окажется таким недостатком, что в его тени померкнут все основные достоинства данной альтернативы.

Целый ряд убедительных примеров того, что любое положительное свойство объекта является таковым лишь до определенных пределов своего проявления, можно привести и из области медицины - по дозировке лекарственных и профилактических средств, и из области здравоохранения. Словом во всех областях и сферах человеческой активности действует незыблемый жизненный парадокс - наши недостатки есть не что иное, как прямое продолжение наших достоинств. Поэтому, в сложных ситуациях выбора важных по значению или ожидаемым последствиям альтернатив, предпочтительным является использование моделей решения с нелинейными функциями полезности.

8.6. Модель принятия решений с нелинейными функциями полезности

Описываемая ниже модель базируется не на математических ожиданиях вероятностей вклада каждой из рассматриваемых альтернатив в каждый из выбранных целевых показателей, а оперирует более подробной информацией, а именно - с плотностями распределений вероятностей достижимости для каждой из альтернатив определенного уровня по каждому из целевых показателей. Для более полного понимания этого подхода рассмотрим условный пример выбора лечебного препарата, предназначенного для нормализации кровяного давления при гипотонии.

Сравниваются три лечебных препарата, стимулирующих повышение кровяного давления с условными названиями “Кардолин А”, “Кардолин В” и “Кардолин С”. Массовые клинические испытания показали, что вероятности повышения кровяного давления составляют 0,25, 1,00 и 0,75 для препаратов А, В и С соответственно. Таким образом, если задачу повышения кровяного давления до уровня не ниже нормального принять в качестве одного из целевых показателей при лечении гипотонии, то наиболее предпочтительно выглядит препарат В, а препарат А надлежит исключить из дальнейшего рассмотрения как мало перспективный.

Однако при более детальном рассмотрении результатов испытаний с учетом распределений вероятностей и с учетом нелинейности функции полезности кровяного давления картина меняется, причем, весьма и весьма существенно. Это иллюстрируется на условных данных, приведенных в виде кривых на рис. 8.2. Кривая в верхней части этого рисунка представляет функцию полезности $F(D)$ разных уровней кровяного давления, причем уровень полезности давления в норме принят за единицу. При повышении давления от нормы уровень его полезности естественно снижается и при

увеличении давления свыше 1,5 от нормы полезность принимает отрицательные значения.

В нижней части рис. 8.2 приведены функции $p(D)$ плотности распределения вероятностей достижения определенного уровня кровяного давления, полученные на основе обработки статистических данных клинических испытаний. Если принять в качестве целевого показателя при лечении гипотонического криза вероятность повышения кровяного давления до уровня не ниже нормы, то вероятность этого события определяется по соотношению

$$P_i \{D^* \geq D_N\} = \int_1^{\infty} p_i(D) dD,$$

где D^* - уровень, достигаемый при использовании i -го препарата;

D_N - уровень давления в норме;

i - индекс альтернативы

и принимает следующие указанные ранее значения: $P_A = 0,25$; $P_B = 1,00$; $P_C = 0,75$, свидетельствующие, на первый взгляд,

о весьма высокой эффективности препарата **В**, хорошем уровне эффективности препарата **С** и посредственном (скорее - низком) уровне эффективности препарата **А**.

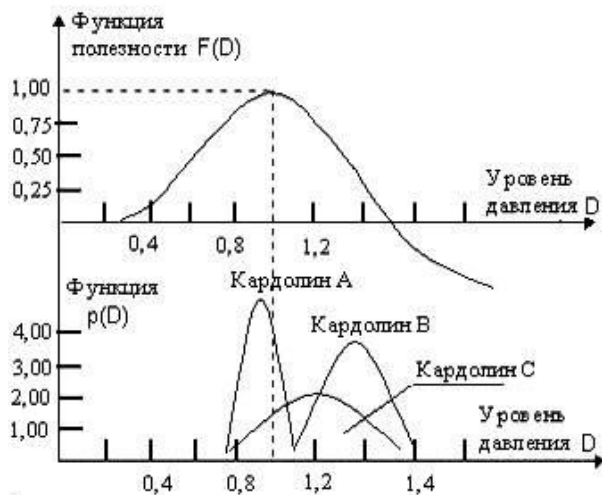


Рис. 8.2 Взвешенная оценка полезности альтернатив

Если же при анализе учитывается нелинейность функции полезностей, то уровень полезности, достигаемый при использовании лечебного препарата надлежит определять по соотношению

$$G_i = \int_0^{\infty} F(D)p_i(D)dD$$

и тогда показатели полезности, вычисленные в соответствии с этим соотношением, получают следующие значения: $G_A = 0,87$; $G_B = 0,52$; $G_C = 0,82$. При таком подходе явно предпочтительным выглядит препарат “Кардолин А”. А если еще ввести в рассмотрение дополнительный показатель L_i - вероятность того, что в результате воздействия препарата кровяное давление превысит уровень $1,2D_N$, вычисляемую по соотношению

$$L_i = \int_{1,2}^{\infty} p_i(D)dD,$$

то полученные значения $L_A = 0$; $L_B = 0,82$; $L_C = 0,55$ делают преимущество препарата **A** совершенно бесспорным и говорят о том, что препарат **C** надлежит применять с осторожностью, а препарат **B** исключить из употребления, как приводящий к чрезмерному риску.

Таким образом, рассмотренный пример со всей убедительностью показывает преимущества подхода, базирующегося на учете нелинейностей функций полезностей целевых показателей и рассмотрений распределений вероятностей достижения целевых показателей, вместо использования математических ожиданий этих вероятностей. Структурная схема процесса принятия решений, базирующаяся на этом подходе, представлена на рис. 8.3. Понятно, что использование описанного подхода возможно только на базе специально разработанной компьютерной модели, что при нынешнем

положении с распространенностью и относительной дешевизной персональных компьютеров не представляет сколь-нибудь серьезного ограничения.

Более существенной является проблема получения плотностей распределения вероятностей, что является необходимым условием возможности использования модели. Далеко не всегда ЛПР располагает данными, полученными на основе

представительных испытаний, по результатам которых могут быть построены необходимые функции.

В этой ситуации могут быть использованы функции плотностей вероятностей или же *диапазоны осуществимости шансов*, построенные на основе экспертных оценок.

8.7. Построение плотностей распределения вероятностей и плотности распределения шансов на основе экспертных оценок

В самом общем случае использования понятия *вероятность* могут быть использованы два исходных базиса для ее исчисления: классический (или системный) и статистический. Классический (системный) базис применим в тех случаях, когда некий объект (группа объектов) в результате ис-



Рис. 8.3 Структурная схема процесса ранжирования альтернатив с использованием плотностей распределения вероятностей

пытаний могут занимать одно из определенных состояний, общее количество которых является счетным, а множество всех возможных исходов является полным. Общее количество возможных исходов в процессе многократных испытаний определяется характеристикой объектов (их системными свойствами).

Хорошо изученными классическими примерами, с анализа которых и начиналось создание и развитие теории вероятностей, являются игральные кости, игральные карты. При бросании игральной кости, имеющей, как известно, шесть граней, возможно всего шесть исходов и если кость является правильной, то вероятность выпадения любого числа очков от единицы до шестерки равно $1/6$. Точно так же для колоды игровых карт, состоящей из 52 листов, вероятность вытащить одну определенную карту составляет $1/52$, а вероятность вытащить карту определенной масти - $1/4$, то есть равна, как и во всех подобных ситуациях, отношению числа благоприятных исходов к общему числу всех возможных исходов.

Второй базис - статистический - используется в тех случаях, когда общее число возможных исходов неизвестно, а их совокупность не представляет полного множества. В этой ситуации используются статистические данные наблюдений за множеством исходов сходных по характеру событий либо в естественных условиях, либо в искусственных, специально организованных условиях (испытания, эксперименты) и вероятность интересующего исхода $p(A)$ определяется по соотношению

$$p(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m_A}{n},$$

то есть, как предел отношения m_A - числа реализации события A к общему количеству наблюдений (испытаний) n при n стремящемся к бесконечности. Числа, выражающее

системную или статистическую вероятность, имеют смысл прогнозных оценок, которые, в принципе, могут получить количественное подтверждение. А именно, при достаточно большом числе испытаний (наблюдений) n , (проводимых в **одинаковых** условиях) число m_A реализаций события A будет достаточно близко совпадать с величиной, найденной из соотношения

$$m_A = np(A).$$

Таким образом, использование вероятностных оценок для многократно повторяющихся или часто встречающихся событий имеет вполне понятный смысл. Следует особо еще раз подчеркнуть, что приведенная формула имеет информативный смысл именно только по отношению к большой серии экспериментов (наблюдений). По отношению к малой выборке прогнозная значимость формулы заметно ухудшается.

Для случайной выборки объема n выборочное среднее $\bar{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)/n$ имеет дисперсию σ^2/n . Значит, значение $\bar{Z}$ приближается к математическому ожиданию $E(z)$ только при $n \rightarrow \infty$. А для разового эксперимента ($n=1$) можно лишь ожидать, что наблюдаемая величина примет значение в диапазоне $E(z) \pm 3\sigma$.

Между тем, нередко встречаются ситуации, когда числа, полученные на основе статистических расчетов, приводятся с тремя, четырьмя, а то и пятью знаками после запятой. Это - показатель неграмотного восприятия смысла вероятности. Смысл понятия статистической вероятности существенно затемняется при малой выборке, или вовсе исчезает, если речь идет о единственном *необратимом* событии из ряда подобных или, вообще об уникальном (разовом) событии. Например, если речь идет о сложной опасной операции с риском летального исхода, то такая оценка как, скажем, де-

сятипроцентная вероятность летального исхода означает, что в предстоящих операциях на сотню больных будет иметь место, примерно, по десять летальных исходов. Но, кто будет в числе этой десятки неудачников? И что означает такая оценка для конкретного больного, для которого летальный исход будет событием *необратимым* ?

Для *восстанавливаемого* механизма или прибора, могущего в процессе определенных испытаний выйти из строя, а затем, после ремонта, вновь подвергаться испытаниям десятипроцентная вероятность выхода из строя означает что, подвергаясь периодическим испытаниям, или работая в определенном режиме, прибор выходит из строя, примерно десять раз на каждые сто циклов испытаний. То есть для уникального, но восстанавливаемого механизма, способного подвергаться многократным испытаниям, вероятностная оценка отказа имеет вполне определенный смысл и позволяет прогнозировать поведение этого механизма во времени.

Вполне содержательный смысл имеет вероятностная оценка и применительно к человеку, если эта оценка относится к многократно совершаемым действиям этого человека. Вполне понятен, например, смысл такой оценки опытного хирурга, что у него вероятность неудачного исхода составляет 0,005. Это означает, что из тысячи предстоящих операции только несколько из них окажутся неудачными. Но вот о сапере говорят, что он ошибается всего один раз в жизни. Так что же означает для конкретного сапера (не для абстрактной совокупности саперов, а для конкретного человека) вероятность фатальной ошибки?

И для конкретного сапера, и для конкретного больного, которому предстоит опасная операция, вместо вероятностной оценки более корректным будет говорить о *шансах* на благоприятный исход. Качественное различие между вероятностью и шансом состоит в том, количественная мера вероятности относится к абстрактному, статистически усредненному событию, а шанс оценивается применительно к конкрет-

ному событию (объекту, личности). Если при количественной оценке вероятности все дополнительные факторы, могущие повлиять на конкретный исход, усредняются, то есть соотносятся равномерно к каждому испытанию, то при оценке шансов, можно и должно учитывать дополнительные обстоятельства и факторы, могущие существенно повлиять на исход испытаний.

Исходной базой для оценки шансов может служить та же вероятностная оценка. Однако при анализе конкретных обстоятельств оценка шансов может существенно отклониться от вероятностной оценки. Для пояснения можно сконструировать такой, весьма наглядный, пример. Допустим, что “среднестатистический” призывник, выйдя в первый раз на стрельбище, выбивает десять очков из ста возможных. Теперь представим, что из группы призывников выбрали произвольно двух человек и отправили их на стрельбище, пообещав тому, кто выбьет сто очков из ста отсрочку от призыва на полгода. Пока об этих призывниках не известно ничего, для оценки их шансов получить отсрочку можно пользоваться только вероятностными оценками, согласно которых эти шансы для всех призывников одинаковы и составляют 0,1. Но если поступает информация, что один из выбранных призывников является чемпионом России по стрельбе из винтовки, а второй эту самую винтовку ни разу не брал в руки, то совершенно очевидно, как и в какую сторону изменится оценка шансов для каждого из них конкретно. Таким образом,

Вероятность есть числовая характеристика частотности появления случайных событий при многократных испытаниях в заданных условиях.

Шанс - числовая характеристика степени возможности реализации единичного случайного события, опирающаяся на оценку вероятности этой реализации, но конкретизированная с учетом факторов и обстоятельств, сопут-

ствующих времени и месту возможной реализации данного события.

Бывают, однако, такие ситуации, когда событие по своему характеру является случайным, то есть может произойти или не произойти, но никакого базиса, ни системного, ни статистического, для определения его вероятности применить невозможно. Событие это является единичным по своему характеру и ни о какой частотности его появления речи быть не может. Например, исход уникального эксперимента, не имевшего ранее аналогов, разработка крупного уникального проекта, выборы кандидата на пост Президента Федерации и т. п.

Во всех таких случаях, когда исходная вероятностная оценка, основанная на статистических данных, отсутствует, шансы на реализацию события могут быть определены на основе экспертных оценок. Лицо, принимающее решение, может указать свои собственные оценки шансов для различных возможных событий. Эта оценка отражает степень уверенности ЛПР в том, что событие *E* наступит, и в основе этой оценки лежат многочисленные соображения. Сюда входят знания о физических явлениях, эмпирические данные, результаты моделирования взаимосвязи различных факторов и экспертные суждения многих лиц, главным образом специалистов в рассматриваемой области. Одним из экспертов, как правило, является ЛПР.

Обычно эксперты, владеющие предметом, очень хорошо чувствуют ситуацию и все те факторы, которые могут повлиять на исход в конкретной ситуации. Зачастую, при этом они сами не могут перечислить все обстоятельства и факторы, которые учитываются ими интуитивно при оценке шансов. Однако не следует эксперту задавать прямой вопрос о количественном значении этой оценки, поскольку в большинстве случаев для эксперта трудно выразить через конкретное число ту оценку шансов, которая у него сформировалась. В такой ситуации можно воспользоваться более эф-

фективным способом определения экспертных оценок. Например, способом, базирующийся на принципе “справедливого пари”. Понятие о “справедливом пари” состоит в следующем:

Некто J_p готов выплатить сумму v_p при условии выполнения гипотезы H . Его оппонент J_n согласен выплатить сумму v_n при условии выполнения противоположной гипотезы H^* . При этом $v_p + v_n > 0$. Обсуждая вопрос, произойдет или нет интересующее событие, эксперт должен назвать ставки пари, которые он считает справедливыми по отношению к интересующему событию. Например, эксперт заявляет, что он считает справедливыми ставки пять к одному за то, что данное событие состоится. Тогда количественная оценка шансов для данного события определяется из соотношения

$$C_p = \frac{v_p}{v_p + v_n} = \frac{1}{1 + S}, \quad \text{где} \quad S = v_p / v_n - \text{отношение}$$

ставок пари, C_p - шансы на реализацию, v_p - ставка за то, что событие состоится, v_n - ставка за то, что событие не состоится и тогда при ставках $v_p = 5$, $v_n = 1$ получаем $S=0,2$ и $C_p = 0,83$.

Альтернативным способом получения экспертных оценок вероятности является оценка “по лотерее”. Эксперту предлагается выбор из двух лотерей. В первой из них

$$L_1 = (x^*, p, x^\circ)$$

можно получить выигрыш x^* с вероятностью p и выигрыш x° с вероятностью $1 - p$, причем $x^* \succ x^\circ$, а во второй лотерее

$$L_2 = (x^*, H, x^\circ)$$

можно получить выигрыш x^* если состоится событие H и выигрыш x^o если это событие не состоится. Обе лотереи предъявляются эксперту на выбор и вероятность p регулируется до тех пор, пока для эксперта обе лотереи не станут примерно одинаковыми по привлекательности.

Таким образом, описанными способами определяется оценка величины, соответствующей математическому ожиданию шанса на реализацию бинарного события, о котором можно только сказать “состоялось - не состоялось”. Если же речь идет об оценке количественной меры, например, сроков реализации сложного уникального проекта, то способ справедливого пари может быть использован и для определения плотности распределения шансов. Для этого эксперт последовательно называет ставки пари относительно различных минимально и максимально возможных сроков реализации. Например, эксперт называет ставки сто к одному зато, что проект не будет реализован ранее девяти месяцев и пятьдесят к одному за то, что проект завершится не позднее двух с половиной лет. Далее он называет ставки двадцать к одному за то, что проект не завершится в течение года и пятнадцать к одному за то, что он будет длиться не более двух лет. И, наконец, эксперт считает справедливыми ставки три к одному за срок не менее 15 месяцев и два к одному за срок не более 20 месяцев. Подставляя эти числа в приведенное выше соотношение, получим следующий ряд оценок шансов на то, что продолжительность работ над проектом не превысит заданного количества месяцев:

$$C_p\{9\} = \frac{1}{1+100} = 0,0099; \quad C_p\{12\} = \frac{1}{1+20} = 0,047;$$

$$C_p\{15\} = \frac{1}{1+3} = 0,250; \quad C_p\{20\} = \frac{2}{2+1} = 0,667;$$

$$C_p\{24\} = \frac{15}{15+1} = 0,937; \quad C_p\{30\} = \frac{50}{50+1} = 0,980.$$

На основании этих чисел по точкам строится интегральная функция распределения шансов, а по ней - плотность распределения, которая затем может быть использована в модели, структурная схема которой представлена на рис. 8.3.

Подобным же образом, на основе экспертных оценок может быть построена функция плотности вероятности. При этом может быть использован и упрощенный подход без

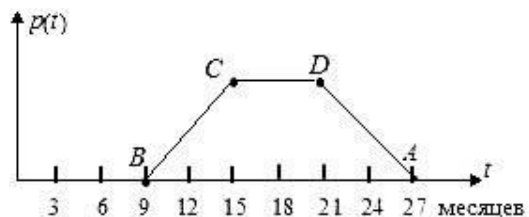


Рис. 8.4 Построение функции плотности распределения на основе экспертных оценок

использования оценок по принципу справедливого пари. Так, например, эксперт может ответить на вопрос, каков, по его мнению, максимально возможный срок реализации проекта.

Скажем, он называет срок два с четвертью года. Этому сроку соответствует точка **A** на рис. 8.4. Далее эксперт называет срок, который он считает минимально возможным - девять месяцев. В соответствии с этим на оси абсцисс наносится точка **B**. И, наконец, эксперт заявляет, что наиболее вероятный срок реализации лежит в пределах от пятнадцати до двадцати месяцев. Этим срокам на рис. 8.4. соответствуют точки **C** и **D**. Полученные точки в соответствии с известным принципом минимизации домыслов соединяют прямыми линиями и полученную фигуру нормируют по оси ординат так, чтобы площадь под ней была равной единице. При этом условии высота трапеции на рис. 8.4. составляет 0,087. После чего полученная ломаная кривая может использоваться как функция плотности вероятности в модели, представленной на рис. 8.3., либо использоваться в расчетах по схеме,

представленной на рис. 8.1. при разных интервалах доверительной вероятности.

Вопрос о выборе оптимального интервала доверительной вероятности возникает тогда, когда принятие решения связано с риском недооценки или переоценки величины, относительно которой надлежит принимать решение. Наихудший вариант при этом - выбирать “оптимальную” альтернативу на основе её среднего значения. На самом деле, необходимо выбирать вводимую в расчеты величину, сдвинутую вправо или влево (в зависимости от задачи) от среднего значения до выбранной границы доверительного интервала.

Интервалы доверительной вероятности выбираются, исходя из степени важности принимаемого решения и допустимого уровня риска. Пусть $\bar{X}$ - оценка среднего значения потребности в некотором запасе (допустим, запас крови для переливания в полевом госпитале), а максимально возможная величина возможного избыточного запаса составляет при этом $\pm 3\sigma$. Если принять цену потерь за единицу избыточного запаса (затраты на его создание, стоимость хранения, потери в процессе хранения и т. п.) равной 1, и определить, что цена потерь при недостаточном запасе составляет C единиц, то ожидаемые потери от избыточного запаса L^+ и от нехватки этого запаса L^- будут определяться соотношениями

$$L^+ = 3\sigma + t_2\sigma; \quad L^- = C(3\sigma - t_2\sigma).$$

Минимум общих потерь достигается при условии, что $L^+ = L^-$. Если $L^+ > L^-$, то это свидетельствует об излишнем запасе

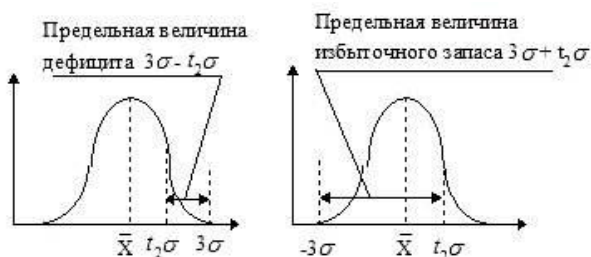


Рис. 8.5 Выбор оптимального уровня запаса

надежности (перестраховка), а при обратном знаке неравенства имеет место чрезмерный риск (азарт, авантюризм).

Исходя из условия равенства потерь от перестраховки и от необоснованного риска, оптимальный уровень запаса по надежности следует выбирать из соотношения

$$t_2 = \frac{3(C-1)}{C+1}.$$

Например, если значимость потерь от дефицита превышает значимость потерь от перестраховки в пять раз ($C = 5$), то оптимальная граница должна находиться справа от величины на расстоянии $t_2\sigma$, где

$$t_2 = \frac{3(5-1)}{5+1} = 2,$$

что соответствует 95 % - ной доверительной вероятности.

Конечно, в большинстве случаев выбор такого запаса по надежности может оказаться перестраховкой и, в самом общем случае, для уровня запаса по надежности установлено пять классов, выбор которых осуществляется в соответствии

Класс надежности	Степень надежности оценки	Доверительная вероятность %	Доверительный интервал в долях σ
A	Практически достоверная	свыше 99,7	свыше 3
B	С малым риском	95 – 99,7	2 - 3
C	Со средним риском	80 – 95	1,3 - 2
D	Повышенный риск	60 – 80	0,8 – 1,3
E	Азартная	менее 60	до 0,8
Таблица 8.14. Классы надежности оценок по степени риска			

с табл. 14. Обычно класс *A* выбирается только в особо ответственных случаях (риск потери человеческой жизни, опасность крупной аварии и т. п.). Класс *E* - только в экстремальных условиях, когда это диктуется настоятельной необходи-

мостью. А в обычных условиях выбирают классы *B*, *C* или *D*.

8.8 Модели распознавания альтернатив

В предыдущих параграфах настоящей главы были рассмотрены модели, которые условно можно разделить на два класса по специфике их использования. Так, рассмотренную в разделе 8.1.1 модель статистических решений в классической постановке (и ей подобные), можно отнести к классу моделей выбора оптимального поведения в условиях неуправляемой внешней среды. Модель с балльными оценками (раздел 8.3) и ей подобные можно отнести к моделям выбора целенаправленного действия. Такие модели повышают эффективность выбора таких действий (конструкций, методик, организационных решений и т. п.) реализация которых позволяет повысить вероятность достижения положительных целей и снизить негативный эффект нежелательных последствий. Конечно, такое разделение достаточно условно, поскольку одну и ту же модель может использоваться в различных ситуациях. Например, модель статистических решений в расширенной постановке (раздел 8.2) может использоваться для решения задач обоих классов.

Более того, она может использоваться и как модель, относящаяся к третьему классу моделей, ориентированных на распознавание альтернатив. Решая класс задач по распознаванию ЛППР, не выбирает оптимальные альтернативы с целью последующей их реализации, а производит анализ сходных по совокупности признаков объектов и явлений с целью выбора из этой совокупности, тех объектов (процессов, явлений), в отношении которых надлежит осуществить некие целенаправленные действия.

К таким задачам относится, например, выявление программ (фрагментов программ), зараженных вирусом и подлежащих излечению или устранению. Поиск признаков, позволяющих отличать и фильтровать сообщения, являющиеся спамом. Выявление истинного характера заболевания по совокупности симптомов, которые могут сопутствовать другим заболеваниям (помимо того, которым на самом деле страдает обследуемый пациент) и т. д. В разделе 8.2 как раз рассмотрен вариант возможного использования для этой цели описываемой модели.

8.9 Условные вероятности и правило Байеса

Условная вероятность события d при наличии признака s — это вероятность того, что событие d наступит при условии, что наступило событие s . Например, вероятность того, что пациент действительно страдает заболеванием d , если у него (или у нее) обнаружен только симптом s . В традиционной теории вероятностей для вычисления условной вероятности события d при данном s используется следующая формула:

$$P(d|s) = (d \wedge s) / P(s)$$

Такая же формула используется для вычисления условной вероятности события при данном d

$$P(s|d) = (d \wedge s) / P(d)$$

Как видно из этих соотношений, условная вероятность определяется в терминах совместимости событий. Она представляет собой отношение вероятности совпадения событий d и s к вероятности появления события s (или d). Из приведенной формулы следует, что

$$P(d \wedge s) = P(d|s)P(s) = P(s|d)P(d)$$

откуда следует $P(s|d)P(s) = P(d|s)P(d)$

Разделив обе части на $P(s)$, получим *правило Байеса* в простейшем виде:

$$P(d|s) = (s|d)P(d)/P(s)$$

Это правило, которое иногда называют *инверсной формулой для условной вероятности*, позволяет определить вероятность $P(d|s)$ появления события d при условии, что произошло событие s через известную условную вероятность $P(s|d)$. В полученном выражении $P(d)$ — априорная вероятность наступления события d , а $P(d|s)$ — апостериорная вероятность, т.е. вероятность того, что событие d произойдет, если известно, что событие s свершилось. Для систем, основанных на знаниях, формула эта гораздо удобнее, чем исходная формула вычисления условной вероятности.

Предположим, что у пациента имеется некоторый симптом заболевания, например боль в груди, и желательно знать, какова вероятность того, что этот симптом является следствием определенного заболевания, например инфаркта миокарда или перикардита (воспаление каверн в легких), или чего-нибудь менее серьезного, вроде несварения желудка. Для того чтобы вычислить вероятность

$$P\{\text{инфаркт миокарда} \mid \text{боль в груди}\}$$

по формуле условной вероятности, нужно знать (или оценить каким-либо способом), какова вероятность такого заболевания и сколько человек **и** больны инфарктом миокарда, **и** жалуются на боль в груди (т.е. имеют такой же симптом). Как правило, такая информация отсутствует, особенно последняя, которая нужна для вычисления вероятности $P\{\text{инфаркт миокарда} \mid \text{боль в груди}\}$. Таким образом, определение, данное формулой условной вероятности, в клинической практике не может быть использовано. Отмеченная

сложность получения нужной информации явилась причиной негативного отношения многих специалистов по искусственному интеллекту к вероятностному подходу вообще. Это негативное отношение подкреплялось тем, что в большинстве классических работ по теории вероятностей понятие вероятности базировалось лишь на понятии *объективная частотность* (частота появления при достаточно продолжительных независимых испытаниях).

Однако существует мнение, что эти базовые предположения небесспорны с точки зрения практических приложений. Сторонники такого подхода придерживаются *субъективистской* точки зрения на определение вероятности, которая позволяет иметь дело с *оценками* совместного появления событий, а не с действительной «объективно» измеренной частотой. Такой взгляд на вещи связывает вероятность смеси событий с субъективной верой в то, что событие действительно наступит.

Например, врач может не знать или не иметь возможности вычислить, какая часть пациентов, жалующихся на боль в груди, страдает инфарктом миокарда, но на основании собственного опыта он может оценить, у какой части его пациентов, страдающих этим заболеванием, встречался такой симптом. Следовательно, он может оценить значение вероятности $P\{\text{боль в груди} \mid \text{инфаркт миокарда}\}$. Субъективный взгляд на природу вероятности тесно связан с правилом Байеса по следующей причине. Предположим, мы располагаем достаточно достоверной оценкой вероятности $P\{s|d\}$, где s означает симптом, а d — заболевание. Тогда по формуле Байеса можно вычислить вероятность $P\{d \mid s\}$. Оценку вероятности $P(d)$ можно взять из публикуемой медицинской статистики, а оценить значение $P(s \mid d)$ врач может на основании собственных наблюдений.

Вычисление $P(d | s)$ не вызывает затруднений, когда речь идет о единственном симптоме, т.е. имеется множество заболеваний D и множество симптомов S , причем для каждого члена d_i из множества D нужно вычислить условную вероятность того, что у пациентов, страдающих этим заболеванием, наблюдался *один определенный* симптом из множества S . Тогда для вычисления условной вероятности одного из заболеваний используется формула Байеса в следующем виде

$$P(d_i | s) = P(d_i)P(s | d_i) / \sum_{i=1}^n P(d_i)P(s | d_i)$$

Однако, если в множестве D имеется m членов, а в множестве S — n членов, потребуется вычислить $mn + m + n$ оценок вероятностей. Это отнюдь не простая работа, если в системе медицинской диагностики используется до 2000 видов заболеваний и огромное число самых разнообразных симптомов. Но ситуация значительно усложняется, если мы попробуем включить в процесс составления диагноза не один симптом, а несколько. В этом случае правило Байеса необходимо использовать в более общей форме, в которой оно имеет вид

$$P\{d | s_1 \wedge \dots \wedge s_k\} = P(s_1 \wedge \dots \wedge s_k | d)P(d) / P(s_1 \wedge \dots \wedge s_k)$$

Для применения формулы в таком виде потребуется вычислить $(mn)^k + m + n^k$ оценок вероятностей, что даже при небольшом значении D очень много. Эти оценки вероятностей требуются нам по той причине, что в общем случае для вычисления $P(s_1 \wedge \dots \wedge s_k)$ нужно предварительно вычислить произведения вида

$$P(s_1 | s_2 \wedge \dots \wedge s_k)P(s_2 | s_3 \wedge \dots \wedge s_k) \dots P(s_k) .$$

Однако, если предположить, что некоторые симптомы независимы друг от друга, объем вычислений существенно снижается. Независимость любой пары симптомов S_i и S_j означает, что

$$P(s_i) = P(s_i | s_j),$$

из чего следует соотношение

$$P(s_i \wedge s_j) = P(s_i)P(s_j).$$

Если *все* симптомы независимы, то объем вычислений будет таким же, как и в случае учета при диагнозе единственного симптома.

Но, даже если это и не так, в большинстве случаев можно предположить наличие *условной независимости*. Это означает, что пара симптомов S_i и S_j считается независимой, если в нашем распоряжении имеются какие-либо дополнительные свидетельства на этот счет или фундаментальные знания E . Тогда можно считать справедливым соотношение

$$P(s_i | s_j, E) = P(s_i | E).$$

Например, если в автомобиле нет горючего и не работает освещение, опытный водитель может смело сказать, что эти симптомы независимы, поскольку его познаний в устройстве автомобиля вполне достаточно, чтобы предположить, что между ними нет никакой причинной связи. Но если автомобиль и не заводится и не работает освещение, то заявлять, что эти симптомы независимы, нельзя, поскольку они могут быть следствием одной и той же неисправности - аккумуляторной батареи. Степень доверия к симптому "не работает освещение" только увеличится, если обнаружится, что к тому же и двигатель не заводится. Необходимость отслеживать такого рода связи в программе и соответственно корректировать степень доверия к симптомам значительно увеличивает объем вычислений в общем случае.

Данный пример показывает, что предположение о полной независимости всех наблюдаемых симптомов является мало обоснованным. Действительно, пытаясь исходить из опыта медицинской практики, очень трудно найти пример, когда какое-нибудь заболевание сопровождалось бы наличием единственного симптома (разве, что кровотечение из пулевого отверстия или ножевого ранения). На самом деле, практически любое заболевание сопровождается группой симптомов, которые никак нельзя считать независимыми. А если добавить еще реальную возможность наблюдения еще нескольких симптомов, характерных для другого (а то и нескольких) сопутствующих заболеваний, то картина усложняется до чрезвычайности.

8.10. Процедура применения правила Байеса при использовании таблиц решений

Отчаиваться, однако, не следует. В настоящее время

Оценки выражен- ности симптомов		w_1	w_2		w_n	Ранги достовер- ности гипотезы d_i
Набор симптомов		S_1	S_2		S_n	
Альтернативы	1	$P\{s_1 d_1\}$	$P\{s_2 d_1\}$		$P\{s_n d_1\}$	$Q(d_i) = \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j$
	2	$P\{s_1 d_2\}$	$P\{s_2 d_2\}$		$P\{s_n d_2\}$	
	i	...	...		...	
	m	$P\{s_1 d_m\}$	$P\{s_2 d_m\}$		$P\{s_n d_m\}$	
Таблица 8.15 Матрица выбора диагностических гипотез						

уже разработан ряд экспертных систем, позволяющим тем

или иным путем обойти все эти сложности. Ниже описывается предлагаемая процедура распознавания наиболее достоверной гипотезы о заболевании, проводимая с использованием правила Байеса, модифицированной матрицы решений (табл.8.3) и при участии опытного врача – диагноста.

Для этого:

1. В качестве альтернатив a_i рассматриваются те заболевания, при которых характерными являются наблюдаемые симптомы (гипотезы d_i);

2. В качестве целевых показателей G_j принимаются сами наблюдаемые симптомы S_j ;

3. В качестве вероятностей p_{ij} в данном применении проставляются условные вероятности $P\{s_i|d_j\}$, то есть, вероятности того, что при i -м заболевании наблюдается j -й симптом.

В такой постановке ЛПР исходит из того, что гипотеза d_i (при решении задачи диагностики заболеваний альтернативы называют гипотезами), обладающая наибольшей ожидаемой ценностью, является наиболее вероятной. Сформированная таким образом модель представлена в табл.8.15. Обратим внимание, что вероятности $P\{s_i|d_j\}$, которые проставляются в ячейки платёжной матрицы, не обязательно разыскивать в каких-то статистических справочниках. Они определяются на основе накопленного опыта наблюдения за больными с различными заболеваниями, то есть, содержат достаточно достоверную информацию. Естественно, эта информация в значительной мере субъективна, поскольку точность оценки зависит от квалификации врача.

Это может сыграть негативную роль при недостаточной квалификации врача. Зато, квалифицированный врач способен выявить не только наличие определённых симптомов, но и тонкие нюансы степени их выраженности, такие как характер кашля (глухой, звонкий, надрывный), степень твёрдости живота, локализация болевых ощущений и т.п.

Квалифицированный врач может также учесть и такие важные показатели как возраст, общее состояние здоровья, перенесенные ранее заболевания, наследственность и т. п. Ясно, что столь тонкие различия невозможно формализовать в виде каких-то статистических данных. Кроме того, в особо сложных случаях эти оценки могут приниматься консилиумом, что ещё больше повысит их надёжность по сравнению с оценками, полученными из статистических справочников.

Полученные на основе табл.8.15 оценки рангов могут использоваться двояко. Во-первых, они могут послужить основой для выбора наиболее вероятной гипотезы d^* . Этот выбор осуществляется исходя из соотношения

$$Q(d^*) = \max_i \sum_{j=1}^n p_{ij} w_j$$

В тех случаях, когда значение $Q(d^*)$ заметно превышает значения остальных оценок вычислительные процедуры можно завершить и переходить при необходимости к проведению дополнительных анализов по профилю выявленного заболевания, или непосредственно к лечебным процедурам. Но, бывает, что разница между вычисленными ранговыми оценками невелика. Так в одной из работ (к сожалению, ссылка на источник утрачена) приводилась таблица вероятностей для группы заболеваний по признаку «Острый живот», полученная авторами при использовании разработанной ими программы:

Холецистит	0,787
Внематочная беременность	0,655
Панкреатит	0,321
Аппендицит	0,218

и на основании этой таблицы авторами был сделан "уверенный" вывод о выявленном заболевании холециститом. Видимо, авторы оказались в плену кажущейся "точности" полученных оценок, отображенных с тремя знаками после запятой. Но, что на самом деле означают эти вероятно-

сти? Не более того, что при наблюдаемой совокупности симптомов Холецистит может подтвердиться в 75 - 80 случаях из ста. А второй диагноз, окажется справедливым для 60 - 70 пациенток из ста. Ясно, что в такой ситуации отдавать явное предпочтение первому диагнозу будет не корректным. Если различие между соседними по значимостям ранговых оценок гипотезами недостаточно велико, то необходимо использование дополнительных методов дифференциальной диагностики.

В качестве такового предлагается использовать байесовский подход в сочетании с таблицами принятия решений. Предлагаемая процедура распознавания наиболее достоверной гипотезы о заболевании, проводимая с использованием правила Байеса, таблиц решений и при участии опытного врача – диагноста, описывается ниже. Используемые для этого таблицы решений (табл.8.16, табл.8.17) будут иметь структуру модифицированной матрицы, рассмотренной выше, с не-

Сравниваемые гипотезы и их априорные вероятности $P(d_i)$			Наблюдаемые симптомы			
			s_1	s_2	$\dots$	s_n
Гипотезы	d_1	$P(d_1)$	$P(s_1 d_1)$	$P(s_2 d_1)$	$\dots$	$P(s_n d_1)$
	d_2	$P(d_2)$	$P(s_1 d_2)$	$P(s_2 d_2)$	$\dots$	$P(s_n d_2)$
	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
	d_n	$P(d_n)$	$P(s_1 d_m)$	$P(s_2 d_m)$	$\dots$	$P(s_n d_m)$
			$B_j = \sum_{i=1}^n P(d_i)P(s_j \mid d_i)$			
Таблица 8.16. К расчету условных вероятностей						

которыми дополнениями. Здесь в качестве вероятностей $P(d_i)$ наряду с данными, полученными из различных источ-

ников, могут быть использованы значения, полученные в табл.8.15. И эти значения предпочтительны, поскольку получены они применительно не к одному симптому, а к выбранной их совокупности.

По существу в предлагаемом подходе наблюдаемая совокупность симптомов рассматривается как единый комплексный объект, где каждый из симптомов системно связан с остальными, что полностью соответствует объективной реальности. И это снимает с рассмотрения проблему их независимости.

Сравниваемые гипотезы и их априорные вероятности $P(d_i)$			Наблюдаемые симптомы				Значимость Q_i
			s_1	s_2	$\dots$	s_n	
Гипотезы	d_1	$P(d_1)$	$P(s_1 d_1)/B_1$	$P(s_2 d_1)/B_2$	$\dots$	$P(s_n d_1)/B_j$	Q_i
	d_2	$P(d_2)$	$P(s_1 d_2)/B_1$	$P(s_2 d_2)/B_2$	$\dots$	$P(s_n d_2)/B_j$	Q_i
	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	Q_i
	d_n	$P(d_n)$	$P(s_1 d_m)/B_1$	$P(s_2 d_m)/B_2$	$\dots$	$P(s_n d_m)/B_j$	Q_i
			$B_j = \sum_{i=1}^n P(d_i)P(s_j d_i)$				
Таблица 8.17. К расчету условных вероятностей							

Здесь в качестве вероятностей p_{ij} , которые в обычной таблице решений показывают вероятность вклада i -й альтернативы в достижение j -го целевого показателя, заносят условные вероятности того, что при i -м заболевании будет наблюдаться j -й симптом. В нижней части таблицы под

каждым j -м столбцом записываются вычисленные суммы произведений вероятностей $P(d_i)$ на условные вероятности $P(s_j|d_i)$.

Для завершения расчетов заполняется еще одна матрица (табл. 8.17). В ячейки этой матрицы записываются условные вероятности $P(d_i|s_j)$, вычисляемые по правилу Байеса. Для этого, произведения вероятностей $P(d_i)P(s_j|d_i)$ для каждой ij -й ячейки, делят на суммы этих произведений, вычисленных для каждого j -го столбца и записанных под этим столбцом в табл. 8.16. В итоге получаем матрицу (табл. 8.17), все элементы которой (за исключением крайнего правого столбца) получены в полном соответствии с математическими формулами и правилами, используемыми в известных публикациях.

Что касается крайнего правого столбца, где должны заноситься результирующие оценки по каждой из гипотез, то выбор способа интеграции условных вероятностей, представленных по каждой строке, остается пока не очевидным. В литературных источниках иногда предлагается подход, состоящий в том, чтобы считать наблюдаемые симптомы статистически независимыми тогда вероятность одновременного наблюдения вычислять как произведения вероятностей. Однако такой подход не выдерживает никакой критике по нескольким причинам.

Во-первых, такой подход приемлем, если только причинно-следственные связи между наблюдаемыми случайными величинами неизвестны и природа их установлена быть не может. В данном же случае (выбор гипотез о заболевании) с полной достоверностью известно, что, если не все, то, по крайней мере, определенная группа симптомов связана с одним заболеванием (из анализируемой совокупности).

На самом деле, системной связи между каждым заболеванием и сопутствующими симптомами соответствует логи-

ческая схема «ИЛИ» (без исключения), подразумевающая, что каждому заболеванию сопутствует появление одного, двух, n симптомов в любой совокупности. Такое предположение полностью согласуется с медицинской практикой, зато требует проведения наиболее сложных и громоздких вычислений. При проведении этих вычислений в конечный результат будет входить как сумма всех вероятностей, так и сумма их произведений в различных сочетаниях. В этой ситуации разумным представляется такой подход, когда для получения предварительной оценки апостериорного значения $\bar{P}^*(d | s_{\Sigma})$ учитывается только сумма вероятностей, а остальными членами пока пренебрегаем. Такой подход может быть обоснован тем, что слагаемые, являющиеся произведениями вероятностей, явно меньше по величине, чем просто вероятности, так что их вклад в окончательный результат не столь значительный.

Итак, в правый столбец записываются оценки условных вероятностей, вычисляемые по каждой строке как сумма по всем симптомам. Разумеется, полученная таким способом оценка не является, по своей сути, апостериорной условной вероятностью, однако ее вполне принять, как вполне представительную оценку шансов для каждой из гипотез считаться достоверной. Однако, использовать для окончательного вывода полученные оценки было бы не совсем корректно. Однако, если выбор произведен по установленным правилам, то выбранная альтернатива в любом случае обеспечит выход в область вблизи экстремума.

Описанная выше методика эффективна, если поиск ведет высококвалифицированный эксперт. Но, идея создания компьютерных экспертных систем состоит в том, чтобы она помогала в принятии решений и рядовому специалисту и высококвалифицированному. Для этого, экспертная система «загружается» знаниями, коллективным опытом, полученным многими специалистами за длительный период и на большом

количестве наблюдений. Тем самым, экспертная система по объему накопленных знаний значительно превосходит научный багаж любого специалиста. Вопрос состоит только в том, в каком виде следует отображать эти знания, чтобы экспертная система могла их использовать при реализации формализованных процедур.

Один из вариантов такого представления является формирование правил влияния и коэффициентов уверенности.

8.11. Коэффициенты уверенности

В идеальном случае можно вычислить вероятность $P(d_i | E)$, где d_i — i -я диагностическая категория, а E представляет все необходимые дополнительные свидетельства или фундаментальные знания, при использовании только вероятности $P(d_i | s_j)$, где s_j является j -м клиническим наблюдением (симптомом). Однако, правило Байеса позволяет выполнить такие вычисления только в том случае, если, во-первых, доступны все значения $P(s_j | d_i)$, и, во-вторых, правдоподобно предположение о взаимной независимости симптомов. (А как было показано, такое предположение неправдоподобно)

В реальных диагностических системах применяют альтернативный подход на основе правил влияния, которые следующим образом связывают имеющиеся данные (свидетельства) с гипотезой решения:

ЕСЛИ

пациент имеет показания и симптомы $s_1 \wedge \dots \wedge s_k$ и имеют место определенные фоновые условия $t_1 \wedge \dots \wedge f_m$,

ТО

можно с уверенностью t заключить, что пациент страдает заболеванием d_i .

Коэффициент уверенности t принимает значения в диапазоне $[-1, +1]$. Если $t = +1$, то это означает, что при соблюдении всех оговоренных условий составитель правила абсо-

лютно уверен в *правильности* заключения d_i , а если $t = -1$, то значит, что при соблюдении всех оговоренных условий существует абсолютная уверенность в *ошибочности* этого заключения. Отличные от +1 положительные значения коэффициента t указывают на степень уверенности в *правильности* заключения d_i , а отрицательные значения — на степень уверенности в его *ошибочности*.

Основная идея состоит в том, чтобы с помощью порождающих правил такого вида попытаться заменить вычисление $P(d_i | s_1 \wedge \dots \wedge s_k)$ приближенной оценкой и таким образом симитировать процесс принятия решения экспертом-человеком. Результаты применения правил такого вида связываются с коэффициентом уверенности окончательного заключения с помощью $CF(a)$ — коэффициента уверенности в достоверности значения параметра a , а дополнительные условия $t_1 \wedge \dots \wedge t_m$ представляют фоновые знания, которые ограничивают применение конкретного правила. Чаще всего оказывается, что эти условия могут быть интерпретированы значениями "истина" или "ложь", т.е. соответствующие коэффициенты принимают значение +1 или -1. Таким образом, отличные от единицы значения коэффициентов характеризуют только симптомы $s_1, \dots, s_k$. Роль фоновых знаний состоит в том, чтобы разрешить или запретить применение правила в данном конкретном случае. Пусть, например, имеется диагностическое правило, связывающее появление болей в брюшной полости с возможной беременностью. Применение этого правила блокируется фоновым знанием, что оно справедливо только по отношению к пациентам-женщинам.

Некоторые ученые (например, Бучанан и Шортлифф) утверждают, что, строго говоря, применение правила Байеса в любом случае не позволяет получить точные значения, поскольку используемые условные вероятности субъективны.

Однако такая аргументация предполагает *объективистскую* интерпретацию понятия вероятности, т.е. предполагается, что "правильные" значения все же существуют, но мы не можем их получить, а раз так, то и правило Байеса нельзя использовать. Этот аргумент имеет явно схоластический оттенок, поскольку любая экспертиза, проводимая инженером на основе своих знаний, совершенно очевидно сводится к представлению лишь тех знаний о предметной области, которыми обладает человек-эксперт (эти знания, конечно же, являются субъективными), а не к воссозданию абсолютно адекватной модели мира. С точки зрения теории представляется, что целесообразнее использовать математически корректный формализм к неточным данным, чем формализм, который математически некорректен, к тем же неточным данным.

Существует важное практическое достоинство подхода, основанного на правилах. Вычисление коэффициентов уверенности имеет явно выраженный модульный характер, поскольку не нужно принимать во внимание никакой иной информации, кроме той, что имеется в данном правиле. При этом не имеет никакого значения, как именно получены коэффициенты уверенности, характеризующие исходные данные. При построении экспертных систем часто используется эта особенность. Полагается, что для всех правил, имеющих дело с определенным параметром, предпосылки каждого правила логически независимы. Пусть, например, существует зависимость между признаками E_1 и E_2 - их рекомендуется сгруппировать в единое правило: **если E_1 и E_2** , то приходим к заключению H с уверенностью t , а не распределять по двум правилам: если E_1 , то приходим к заключению H с уверенностью t , если E_2 , то приходим к заключению H с уверенностью t .

В основе этой рекомендации лежит одно из следствий теории вероятностей, гласящее, что $P(H \mid E_1, E_2)$ не может быть простой функцией от $P(H \mid E_1)$ и $P(H \mid E_2)$. В силу этого,

выражения для условной вероятности не могут в этом смысле рассматриваться как модульные. Выражение

$$P(B | A) = t$$

не позволяет заключить, что $P(B) = t$ при наличии A , если только A не является *единственным известным* признаком. Если же кроме A мы располагаем еще и знанием E , то нужно сначала вычислить $P(B | A, E)$, а уже потом можно будет что-нибудь сказать и о значении $P(B)$. Такая чувствительность к контексту может стать основой очень мощного механизма логического вывода, но, как уже не раз подчеркивалось, за это придется платить существенным повышением сложности вычислений.

При создании экспертных систем приходится учитывать еще целый ряд дополнительных трудностей, связанных с тем, что система распознавания, основанная лишь на процедуре вычислений, не может по эффективности распознавания образов сравниться с возможностями *Homo sapiens*. Это можно показать на простом примере – проблеме создания фильтров против спама. Каждому известно, что применение самых разрекламированных «антиспамерных» систем серьезной защиты от спама не обеспечивают. В то же время любой неквалифицированный пользователь, просматривая поступившую почту, легко распознает спам по таким простым признакам как бессмысленный набор букв в логине или в домене, навязчивое предложение всяческих никчемных или нереальных услуг (нереальные выигрыши, сексуальные утехы, порнография и т. д. и т. п.). Может и можно «научить» компьютер различать бессмысленный набор символов от осмысленного. Но, как научить опознавать «квазиосмысленный» набор символов, не обозначающих никакого слова?

Пока что, компьютер умеет только вычислять, и не умеет думать. А если даже когда-нибудь и «научится» *думать*, то уж заведомо никогда не будет способным *задумываться*.

А без этого эффективный системный анализ проблем и альтернатив невозможен.

Литература

1. Бескровный И. М., Митин С. Т. Модели принятия решений в АСУ НИИ и КБ. Учебное пособие. – М.: Минрадиопром, ИПК руков. работн., 1983. – 192 с.
2. Бескровный И. М. Модели анализа и выбора альтернатив в медицине и диагностике. Информационные технологии и общество 2006. Материалы форума. – М. 2006
3. Бескровный И. М. Трехмерная интегрированная модель принятия решений// Научная конференция: Системный анализ и управление. URL: <http://www.econf.rae.ru/article/4875>
4. Бескровный И. М. Анализ альтернатив и выбор диагностических гипотез. Часть I. Правило Байеса и методы статистической теории принятия решений. "Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований" - 2012.- №5. – С. 22-33.
5. Исследование операции. т.2. Модели и применения/ Пер. с англ. под ред. Бескровного И. М., Макарова И. М. - М., Мир, 1981. – 677 с.
6. Льюис Р., Райф Х. Игры и решения. М..ИЛ. 1961
7. Питер Джексон Введение в экспертные системы. 3-е издание
8. Теория выбора и принятия решений. Учебное пособие. – М.,Наука, 1982
9. Х. Таха Введение в исследование операций.- М., Мир, 1985

Глава 9 Рыночный механизм мотивационного управления

В предыдущих главах были рассмотрены различные режимы и механизмы управления в организациях и показано,

в частности, что наиболее эффективным при управлении большими сложными системами является режим мотивационного управления, а наиболее адекватным модельным отображением таких систем является представление их в виде систем адаптивного управления. Целью настоящей главы является рассмотрение такого режима управления, выработанного столетиями, которое по своей сути является чисто мотивационным, то есть не содержит в своей основе никаких административно-правовых принудительных мер. Иными словами оно действует на сугубо добровольной, а значит на *мотивационной* основе. Кроме того, это управление не подразумевает подачи каких-либо целенаправленных входных воздействий, а лишь задает некий *регулирующий параметр*, уровень которого и определяет действие всего механизма управления. Тем самым система, в которой действует этот механизм, должна быть отнесена к адаптивным системам, рассмотренным в последнем разделе предыдущей главы.

Таким механизмом управления, о котором пойдет речь, является механизм свободного рынка, а сферой, на которую распространяется его действие, по существу является вся мировая экономика. Однако в рамках определенных государственных границ и политических режимов действие рыночного механизма проявляется по-разному, поэтому целесообразнее в процессе рассмотрения говорить о национальной экономике, дабы не усложнять рассмотрение такими сложными понятиями как *импорт* и *экспорт*.

Разумеется, рассмотрение будет проводиться на модельной идеализированной основе и на сугубо концептуальном уровне, то есть без привлечения каких бы-то ни было количественных данных. Однако можно надеяться, что приводимые ниже концептуальные модели могут составить системную основу, достаточную для того, чтобы после привлечения числовых данных они могли бы быть использованы для получения весьма полезных прогнозов и рекомендаций.

Для того чтобы перейти к рассмотрению собственно механизма рыночного управления, необходимо кратко рассмотреть концептуальную математическую модель идеального свободного рынка, а до того обсудить несколько нетрадиционный взгляд на роль свободного товарообмена в становлении и развитии всей человеческой цивилизации.

9.1 Обмен. Право частной собственности. Товар.

История возникновения понятия *обмен* уходит далеко в глубь доисторических веков и, по видимому, недоступна сколь-нибудь серьезному историческому исследованию. Но, видимо, не столь уж важно выяснить, где и за сколько тысячелетий до новой эры появилось человекообразное существо, которое додумалось до того, что если некое благо, в котором это существо нуждалось (кусок мяса, шкура, съедобный корень), есть у другого, подобного ему существа, а отнять это благо не удастся, то его можно *выменять* на другое благо, чем-либо привлекательное для партнера.

Скорее всего, на первых порах идея *Обмена*, а не *силового отнимания* возникала лишь тогда, когда силовые варианты являлись явно неперспективными, однако и в этом суженном варианте применимости сама грандиозная идея Обмена явилась, на наш взгляд, важнейшим озарением зарождавшегося человеческого разума. Не боясь преувеличения, можно смело утверждать, что именно зарождение и распространение процесса обмена и положило качественную границу между животным миром и человеческим обществом.

В настоящее время общепринятой является иная точка зрения, а именно - считается, что человека сделал труд. Однако классики (в частности, классики марксизма) обычно не уточняют, какое именно содержание вкладывается в понятие "труд". Если принять достаточно общую формулировку и считать, что

труд целесообразная деятельность человека, направленная на видоизменение и приспособление предметов при-

роды для удовлетворения своих потребностей. (Советский энциклопедический словарь)

то, несмотря на кажущуюся “человечную” ориентацию этого определения, оно применимо к подавляющему большинству (если не ко всему множеству) представителей животного мира. Действительно звери роют (строят!) норы, берлоги и иные искусственные убежища. Птицы выют гнезда, муравьи - огромные (по их масштабам) муравейники, пчелы - пчелиные соты и т. д. И всё это – “... деятельность... направленная на видоизменение и приспособление предметов природы для удовлетворения своих потребностей). Правда, марксисты ехидно отмечают, что самый плохой архитектор отличается от самой хорошей пчелы тем, что прежде чем приступить к строительству, он имеет план этого строительства в голове, а пчела-де такового плана не имеет.

Однако этот довод представляется чисто умозрительным, поскольку ни к каким объективно наблюдаемым последствиям не ведет. Что из того, что плохой архитектор всегда до начала строительства “имеет план его в своей голове”? А если этот архитектор “без царя в голове”? Он так и будет всю жизнь дряным архитектором, и будет портить людям жизнь своими уродливыми произведениями. Но вот что действительно качественно отличает пчелу от архитектора так это факт, что, создав безукоризненное произведение строительного искусства - вощину (пластину с сотами) *для своей семьи*, пчела не принимается тут же строить такую же вощину для *чужой* семьи.

И бобры, эти талантливые “гидростроители” строят плотину исключительно для собственных нужд и, овладев в совершенстве этим искусством, не предлагают свои услуги другим бобрам в обмен на какое-то количество рыбы. Таким образом, рассматривая все множество проявлений целенаправленных действий в животном мире по созданию новых объектов искусственного мира с определенностью можно

отметить только одно качественное отличие в этих действиях от действий человека. Лишь человек способен на созидательную деятельность не только для себя, своего рода, своего племени, но и на деятельность, ориентированную на удовлетворение чужих потребностей - деятельность для *Обмена*.

Обмен как категория в животном мире неизвестен, если не считать сугубо физиологические процессы обмена при симбиозе. Но там речь идет об организмах, прочно связанных в единое биологическое образование, и обмен (питательными продуктами) осуществляется лишь в рамках этого *своего* образования. Обмен с представителями чужого рода, племени, народа - явление сугубо человеческое. А раз так, то почему бы не считать, что именно начало *обменных операций* и является началом зарождения человеческой цивилизации, поскольку иные качественные границы между человечеством (на самых ранних порах его зарождения) и остальным животным миром являются весьма и весьма условными и размытыми.

Однако для распространения и развития обменных операций должна существовать системная основа, и такой единственно необходимой основой является осознание и признание *права собственности*. Само по себе чувство собственности широко распространено и в животном мире. Животное охраняет свое жилище (нору, берлогу, муравейник), “свою” территорию для охоты, добычи пищи, своих самок, не говоря уже о своих детенышах. Но единственным механизмом сохранения этой собственности является только сила. И везде в животном мире сильная особь отнимает у более слабой все, что ей заблагорассудится - пищу, территорию, самку...

Правда и в человеческом обществе отнимание является, до сей поры, одним из возможных способов добычи жизненных благ. Но в этом случае имеет место исключение, которое лишь подтверждает правило: *Человеческое сообщество качественно отличается от любого другого животного сооб-*

щества тем, что в нем действуют общественные механизмы охраны личной (частной) собственности.

В голодную пору ребенок может стоять на улице с куском хлеба в руке и сильный здоровый голодный мужчина не станет отнимать этот хлеб только потому, что он сильнее. Такое не может иметь места ни в одной животной стае. Да что там “животной”. Достаточно взглянуть на стаю голубей, олицетворяющих собою символ мира. Как они дерутся из-за крошки хлеба! И видел ли кто-нибудь, чтобы ослабленный голубь (раненный, больной) мог бы съесть доставшуюся ему крошку без того, чтобы ее не отобрали оказавшиеся рядом более сильные “соплеменники”. *Право собственности* как категория только тогда является именно *правом*, когда в признающем это право сообществе существуют реальные (пусть и совсем несовершенные) *общественные механизмы его охраны*.

Зарождение и распространение процесса обмена положило качественную границу между животным миром и человеческим обществом.

Конечно, имеется в виду сугубо добровольный обмен, не основанный на силовом принуждении.



К. Маркс и Ф. Энгельс считают, что “Первая форма собственности, это - племенная собственность” (здесь и далее цитаты из “К. Маркс и Ф. Энгельс. Избранные произведения. Москва 1985 г.), не приводя в подтверждение этому никаких аргументов. Однако представляется, что понятие коллективной собственности является гораздо более сложным, чем понятие личной собственности и находится на более высоком уровне абстракции. Поэтому логичнее предположить, что в качестве первичного было осознано понятие права личной

собственности (своя накидка из шкуры, свой каменный топор, своя женщина, своё место в пещере и т. д.). И объективным проявлением этого явилась идея обмена. И, самое главное, что эта идея осознавалась не только слабым индивидом по отношению к сильному, но и сильным по отношению к слабому. Вряд ли на первых порах это было проявлением *чистой сознательности*. Безусловно, вначале зарождался некий внутриплеменной механизм охраны и защиты права слабого и уж затем признание этого права стало становиться частью сознания развивающегося человека.

Искать ответ на вопрос, что является первичным Обмен или Право собственности, по-видимому, столь же неперспективно как спорить о первичности Яйца или Курицы. Несомненно только, что зарождающийся процесс обмена, базирующийся на крепнувшем осознании права собственности (или, если угодно, крепнущее право собственности, подкрепляемое развивающимся процессом обмена) существенно расширяли потребность в общении и способствовали осознанию того, что человек живет в обществе. У К. Маркса и Ф. Энгельса читаем: “... сознание необходимости вступать в сношения с окружающими индивидами является началом осознания того, что человек вообще живет в обществе. Начало это носит столь же животный характер, как и сама общественная жизнь на этой ступени; это - чисто стадное сознание, и человек отличается здесь от барана лишь тем, что сознание заменяет ему инстинкт, или что его инстинкт осознан”

Вот так, не больше и не меньше - просто так берет и “заменяет” инстинкт сознанием. Если остановиться на этой позиции, то попадаем в замкнутый цикл тавтологии. Действительно, что такое сознание? Ответ - “сознание это то, что заменяет человеку инстинкт”. А что такое человек? Ответ - “человек это живое существо, у которого инстинкт заменен сознанием”. Но тогда, естественно, возникает законный вопрос, а чем, собственно, отличается инстинкт от со-

знания? Ответ: “инстинкт - это у животного, а сознание - у человека”. Великолепный образчик софизма, которым классики частенько “баловались”, хотя декларировали неизменную приверженность диалектике (сиречь - системному подходу).

А вот если принять, что для инстинкта продуцентом мотивации являются лишь чувственные (то есть действующие на органы чувств) ценности, или реально осязаемые, а для сознания продуцентами мотивации являются также и абстрактные ценности, в том числе и потенциальные, то качественная разница между инстинктом и сознанием очерчивается достаточно четко. Мало того, эта разница легко поддается экспериментальной проверке. Действительно, можно ли представить животное, которое будучи голодным, отдаст сегодняшнюю небольшую долю пищи (реально осязаемую ценность) в обмен на твердую гарантию того, что завтра оно получит неизмеримо большее количество еды (потенциальная ценность). Ясно, что на такой шаг может пойти лишь существо, имеющее качественно иной механизм продуцирования мотивации, а именно - сознание.

Далее, реализация самого простейшего акта обмена (тушу убитого зверя на каменный топор) непременно подразумевает операцию не с конкретными, а с абстрактными объектами. Ведь для разнородных по природе и количеству предметов, имеющие как бы разные “размерности” их необходимо привести к единой “размерности”, а таковой универсальной *меновой размерностью* является только одна - *полезность*. А понятие “полезность” является сугубо абстрактным, И вот почему в животном мире мы не наблюдаем процесса обмена. Животные, управляемые инстинктами, не способны к восприятию абстрактных образов, либо способны, но в крайне ограниченном объеме. Но это не отвергает наличие качественной границы между инстинктом и сознанием. Просто, в таких случаях, вполне допустимо говорить о том, что животное, наряду с инстинктом, обладает и зачатками

сознания. По крайней мере, если говорить о собаках, то в наличии таких человеческих чувств как грусть, тоска, верность, им безусловно, не откажешь.

Далее, если вполне логичную посылку, что основной мотивацией к развитию средств общения и пробуждению сознания является растущая потребность в обмене, то появляется достаточно логичная основа для дальнейших рассуждений. Действительно, факты общения, “организованного” взаимодействия, “общественного” разделения труда можно наблюдать и в животном мире. Однако почему же за миллионы и сотни миллионов лет муравьи так и остались в рамках своих муравейников, а пчелы - в рамках своих ульев, хотя их “цивилизации” можно считать довольно развитыми? Не потому ли, что не смогли прийти к идее обмениваться “молочком” или медом? Потребность в средствах общения при взаимодействии в рамках своей семьи, стаи, стада, конечно, существует. Однако при этом нет явной мотивации к абстракции, которая непременно появляется при взаимодействии особей разных племен в процессе обмена.

В самом деле, как, не обладая способностью к абстракции, можно осознать, что одну шкуру медведя можно обменять на груду кореньев, а если не кореньев, то на несколько каменных топоров и наконечников для стрел? Не впадая в преувеличение, можно предположить, что зарождению и развитию такого важнейшего абстрактного понятия как “количество”, а, тем более, - “число”, несомненно способствовало и создавало необходимую мотивацию развитие процесса обмена.

Итак, Обмен и Право собственности (можно - в обратном порядке) явились системной основой для развития средств общения, зарождения и развития языка, развитию общественного разделения труда и, как следствие, - повышения его производительности. Далее, как учили классики - удовлетворение одних потребностей порождало новые потребности, что стимулировало дальнейшее развитие произ-

водительных сил и т. д. В итоге, мы пришли к тому, что человечество имеет на сегодняшний день. На сегодняшний день, удовлетворение только существующих (не говоря о возникающих) потребностей человечества невозможно без существования безгранично развитой системы общественного разделения труда и специализации. Но, общественное разделение труда не может существовать без развитой системы обмена продуктами этого специализированного труда. А этот обмен не может осуществляться без такого уникального механизма обмена товарами как свободный *Рынок*. А понятие “рынок” неразрывно связано с понятием “*товар*”

Поэтому, прежде чем перейти к рассмотрению математической модели идеального рынка, необходимо уточнить понятие “товар”, поскольку классики марксизма придали этому понятию весьма ограниченный смысл. По Марксу товаром может являться лишь такой объект, в создание которого был вложен труд. При этом, рассматривая объекты естественного происхождения (например, дикорастущий лес), Маркс всякий раз изыскивает способ связать этот объект с затраченным трудом. Напоминая тем самым, того грузина, которого попросили подать к столу вареное яйцо и он варил его пять минут, а потом целый час ломал себе голову - как же в это яйцо положить перец?

На самом же деле любой объект может стать предметом обмена, независимо от того вложен или не вложен труд в его создание. Если принять первичное определение, что *товаром называется любой объект, являющийся потенциальным предметом обмена (купли - продажи)*, то, исходя из него, можно определить, какими же свойствами должен обладать объект, чтобы он мог стать предметом обмена. И при строгом рассмотрении таких свойств оказывается всего два:

Для того, чтобы любой объект мог стать предметом товарного обмена он должен обладать двумя свойствами:

- *полезностью, признаваемой более чем одним индивиду;*

- физической возможностью отчуждения, то есть закрепления права собственности на этот объект за неким индивидом (группой индивидов).

На первое из названных свойств Маркс указывал, а вот второе либо “не заметил”, либо сознательно затушевал, поскольку признание объективности этого свойства делает бессмысленной “священную войну”, которую Марксизм ведет против частной собственности. Действительно, почему атмосферный воздух, несмотря на жизненную необходимость для существования человека, не является в обычных условиях предметом купли - продажи? Да просто потому, что не изобретен еще способ “запереть” весь атмосферный воздух “на замок” и продавать его на порции. Правда, у фантаста А. Беляева эта “проблема” решена (А. Беляев, Продавец воздуха).

Известно, какую высокую цену имеют картины кисти известных художников. Но представим себе, что один из великих художников-монументалистов написал картину на отвесной скале, которую можно обозревать со всех прилегающих территорий. Такая картина, хотя в нее и вложен труд великого мастера, не может явиться предметом купли - продажи до тех пор, пока некий находчивый предприниматель не изыщет способа огородить прилегающую территорию (подвергнуть ее отчуждению) и брать деньги за просмотр этой картины.

Итак, определив роль обмена в развитии и жизни человечества, и уточнив понятие товара, переходим к рассмотрению основного механизма реализации обмена товарами - свободного рынка.

9.2 Модель рынка

Естественным (и по существу единственным!) механизмом реализации свободного обмена является *рынок*. В настоящем разделе рассматривается математическая модель *идеального рынка*. Сразу следует оговориться, что по отноше-

нию к реальному рынку, а тем более к современной «рыночной экономике» идеальный рынок является сугубо теоретической абстракцией. То есть, его концептуальной моделью. Грубо говоря, он похож на современный рынок не больше, чем самолёт братьев Рай на современный авиалайнер. Но, не построив концептуальную модель, и не познав на ее основе основных закономерностей функционирования анализируемой сложной системы, невозможно приступить к созданию более реалистичной модели, учитывающей неизбежные отличия свойств реального объекта от свойств его идеализированной модели. Это непреложный закон системного анализа.

Примем, что на идеальном рынке обращается m товаров и имеется некоторое множество участников. Не нарушая общности, имущество каждого участника можно представить в виде вектора $x \in R^m$. При этом x_i означает количество товара i , имеющегося у соответствующего участника. Вектор x назовем «набором товаров».

Войдя на рынок, участник вступает в контакт с другими участниками на предмет выявления возможностей осуществить благоприятный для него обмен имеющегося у него набора товаров на набор товаров какого-либо другого участника. Для того чтобы оценить в каждом случае целесообразность этого обмена, участник должен прежде всего, иметь набор предпочтений, позволяющий ему определять, какой из двух имеющихся на выбор наборов товаров (собственный или партнера по сделке) он предпочтет.

В следующем определении сформулированы разумные требования, которым должны удовлетворять установленные на рынке отношения предпочтения.

Определение 1. Предпочтением называется бинарное отношение $\succsim$ между элементами $x, y \in R^m$, которое обладает следующими свойствами:

1. *Рефлексивностью: $x \succsim x$;*
2. *Транзитивностью: из отношений $x \succsim y$ и $y \succsim z$ следует отношение $x \succsim z$;*
3. *Полнотой: если $x, y \in R^m$, то либо $x \succsim y$, либо $y \succsim x$.*

После того как мы ввели некоторые определения, касающиеся отношений предпочтения, мы можем ввести посредством четкого определения понятие рынка в той простой форме, которая нас сейчас интересует. Представим себе, что вначале каждый участник i имеет в своем распоряжении начальный набор товаров $a^i \in R^m$. Эти наборы участники вводят в обращение, то есть пытаются осуществлять благоприятные для себя обмены.

Векторы a^i называются *начальными распределениями* (товаров) у каждого из участников рынка.

Определение 3. Пусть $\{x^i\}_{i \in \Omega}$ - семейство векторов $x \in R^m$. Если имеет место равенство

$$\sum_{i \in \Omega} x^i = \sum_{i \in \Omega} a^i,$$

то семейство $\{x^i\}_{i \in \Omega}$ называется (допустимым) *распределением товаров*.

Смысл равенства, выполнение которого в определении 3 является условием *допустимости* распределения товаров, состоит в том, что на рассматриваемом идеальном рынке ценности *не исчезают* и новые ценности *не появляются*.

Именно поэтому в любой момент времени суммарная стоимость всех товаров, имеющих на руках у всех участников, должна равняться суммарной стоимости всех начальных наборов товаров.

Определение 4. Вектор p , принадлежащий R^m и обладающий свойствами

$$p_j \geq 0 \text{ для } j = 1, \dots, m \text{ и } \sum_{j=1}^m p_j = 1$$

называется вектором цен. Множество всех векторов цен мы будем обозначать через P .

Пусть p - вектор цен; тогда множество

$$B_p^i = \{x \in R^m \mid px \leq pa^i\}$$

называется бюджетным множеством участника i для p . Очевидно, что бюджетное множество участника при данных ценах состоит из всех тех наборов (распределений) товаров, которые стоят не дороже (по этим ценам), чем имеющийся у него начальный набор.

Точкой равновесия рынка называется пара (p, X) , где p - вектор цен, а X - некоторое допустимое распределение, удовлетворяющее двум условиям:

$$1) \quad px^i \leq pa^i \text{ для всех } i \in \Omega$$

2) из $y^i \in B_p^i$ следует, что для всех i должно быть $x^i \succsim y^i$ (то есть x^i максимально в B_p^i в смысле отношения предпочтения для каждого i).

Если новые товары на рынке не производятся, а имеющиеся не покидают рынок, то исходы всех сделок между участниками должны описываться некоторыми допустимыми распределениями товаров. Если представить себе, что одни товары предлагаются для обмена в больших количествах,

чем другие, то естественно участники будут склонны обменивать большие количества товаров пониженного спроса на меньшие количества товаров повышенного спроса в силу введенного условия, что сумма всех векторов цен равна единице.

Отношение этих количеств отражает соотношения предложения и спроса на данном рынке. Так как мы имеем дело только с отношениями, мы можем путем нормирования получить вектор цен. Такой вектор связан лишь с относительными стоимостями товаров по отношению друг к другу. То есть он определяет для разных товаров те их количества, обмен которыми на рынке считается справедливым для обоих участников обмена. Поскольку такой вектор связан лишь с “ценами” товаров относительно друг друга, то понятие “денег” при этом может вообще не возникать, так что употребление термина цена может даже вводить в заблуждение и нуждается в непременно уточнении.

9.3 Цена товара. Ценность товара. Деньги

Одно из фундаментальных положений свободного рынка состоит в том, что справедливым является или такой обмен, при котором обмениваемые наборы товаров имеют одинаковую цену. (А к несправедливому обмену на свободном рынке никого и не принуждают). Возникает вопрос - а зачем тогда нужен такой обмен? При каких условиях он является целесообразным? Для правильного ответа на эти вопросы необходимо, прежде всего, уяснить, что каждый набор товаров для каждого из участников имеет две оценки полезности: притягательную и сдерживающую. Сдерживающей оценкой полезности любого товара на рынке является его *цена*.

Цена набора товаров - это то количество полезности, которое покупатель *должен отдать* продавцу, чтобы получить право собственности на покупаемый товар. То есть, на величину этой цены покупатель должен отдать некоторое количество обладаемой им полезности. Кроме того, цена -

это то *минимальное количество полезности*, получив которое продавец согласен переуступить право собственности на продаваемый товар. Цена на рынке формируется *объективно*, в зависимости от соотношения предложения и спроса в соответствии с приведенным выше условием равенства суммы всех цен единице, а поэтому является объективной мерой.

Ценность набора товаров для каждого покупателя определяется тем количеством полезности, которую он *готов отдать*, чтобы приобрести интересующий его набор товаров. Эта величина для каждого участника рынка сугубо индивидуальна. Пусть на рынке имеется два участника, каждый из которых имеет по мешку соли. Ясно, что цена обоих мешков одинакова. Но *ценность* соли, продаваемой вторым продавцом, для первого продавца нулевая. Ему свою соль продать надо! А вот для стоящих рядом продавцов картошки соль обладает определенной ценностью. Так же, как и для продавцов соли, картошка обладает определенной ценностью. И вот обменяв (по равновесным ценам!) определенную часть соли на определенное количество картошки, каждый из участников обмена, не изменив количества обладаемой им полезности, выраженной в цене, повышает для себя ценность нового (обновленного в результате обмена) набора товаров.

Действительно, ценность определенного количества картошки при полном отсутствии соли для любого участника рынка будет ниже, чем ценность меньшего количества (уменьшенного за счет обмена) картошки, зато при наличии соответствующего количества соли. Ну, а уж про продавцов соли и говорить нечего. Ясно, что, уменьшив принадлежащее им количество соли в обмен на приобретение равного по цене количества картошки, они заметно повысят ценность (для себя) обладаемого ими набора товаров. И подобная ситуация имеет место в каждом акте обмена.

Обмен происходит в том, и только в том случае, если для каждого из участников обмена ценность приобретаемо-

го товара выше, чем его цена. Вследствие этого каждый акт обмена **повышает ценность** набора товаров, обладаемого каждым из участников обмена.

Процесс обмена продолжается на рынке до тех пор, пока будет оставаться хотя бы одна пара участников, для которых набор товаров, принадлежащий партнеру, обладает большей притягательностью, чем набор, имеемый в собственных руках. И все время пока идет процесс обмена для участников каждого акта обмена повышается обладаемая ими ценность при сохранении цены. И поскольку этот процесс непрерывного повышения обладаемой всеми и каждым ценности, в принципе может происходить без затрат энергии, то рынок, оказывается, в известном смысле, и есть тот *Perpetuum Mobile*, о котором мечтало человечество. Чего не хватает пока описанному выше замечательному механизму повышения всеобщего благосостояния, так это технологичности.

9.4 Роль денег в рыночном обмене

В ходе развития процесса обмена очень скоро выявилась "нетехнологичность" натурального обмена, связанная с трудностью согласования заинтересованности партнеров как по номенклатуре обмениваемых товаров, так и по их количествам. По отношению к количеству значительное неудобство доставляла естественная дискретность некоторых товаров. Понятно, например, что туша мамонта имела большую полезность и, поэтому, высокую цену. Но потенциальный покупатель должен был, во-первых, располагать необходимым количеством товара, предлагаемого на обмен, а, во-вторых, иметь его в том ассортименте, который желателен продавцу мамонтовой туши.

Логичным выходом из этой ситуации явилось появление и развитие специального *менового* товара, который имел бы следующие свойства:

а) заведомую *универсальную* полезность для любого участника рынка, которая обеспечивала бы гарантированную возможность обмена менового товара на любой иной товар;

б) высокую степень (в идеале - бесконечную) делимости без потери своей полезности, которая позволяла бы осуществлять его обмен малой доли менового товара на любой иной товар с произвольно малой ценой;

в) возможность произвольно долгого хранения без потери полезности;

г) компактность, обеспечивающая возможность накопления произвольно больших количеств с целью последующего обмена на большие количества иного товара, имеющего высокую цену;

д) ограниченную возможность воспроизводства менового товара, обеспечивающую ограничение его предложения на рынке, а следовательно, относительную стабильность его цены.

Наличие универсального менового товара на рынке существенно упрощает процедуру обмена. Теперь продавец любого товара не должен подбирать покупателя, имеющего для обмена товар, интересующий продавца, а просто обменивает свой товар на меновой товар. Затем полученный меновой товар он обменивает на интересующие его товары в желательном ассортименте.

В ходе развития цивилизации (и цивилизованного рынка) в роли меновых выступали различные товары, каждый из которых удовлетворял ряду требований, перечисленных в пп. а) - д), но не всем и не в должной мере. Поэтому на смену одному меновому товару приходил другой, и последним в этом ряду в роли менового товара выступило золото.

Однако и золото не в полной мере удовлетворяло всем системным требованиям, предъявляемым к идеальному меновому товару. Связаны эти недостатки с объективной ценой золота, определяемой общим его количеством, имеющимся в обращении. С одной стороны, цена эта излишне вы-

сока, что приводит к недостаточной делимости. Самая мелкая золотая монета, какую только можно изготовить по условиям технологичности, имеет довольно высокую цену, что затрудняет её обмен на мелкие малоценные товары. С другой стороны, удельная цена золота недостаточно высока, чтобы обеспечивалась достаточно высокая компактность его запасов, а следовательно, затрудняется транспортировка и накопление (естественно, не из-за веса, а из-за нарастающей сложности охраны) больших золотых запасов.

Имеются у золота и другие недостатки при использовании его в качестве универсального менового товара, но хватило и указанных выше для того, чтобы постепенно в роли универсального *менового средства* стали выступать бумажные деньги.

Понятие “меновое средство” взамен понятия “меновый товар” выше было использовано не случайно. Все предшествующие меновые товары, включая золото, являлись, по своей природе, именно *товарами*, то есть каждый из них обладал определенной полезностью, независимо от его меновой цены, а цена эта устанавливалась объективно, в соответствии с общим количеством менового товара, находящегося в обороте и это количество нельзя было произвольно увеличить по технологическим условиям.

Но бумажные деньги этими свойствами не обладают. Сами по себе никакой объективной полезностью они не обладают. Если старинная золотая монета, давно изъятая из употребления, имеет определенную цену (по крайней мере, не меньшую чем кусочек золота, имеющий тот же самый вес), то банкноты старого образца, изъятые из употребления, интересуют, в очень ограниченных количествах, только коллекционеров. Что же касается их количества, находящегося в обращении, то эмитент (выпускающий деньги) здесь ничем не ограничен. В любой момент он может выпустить столько денег, сколько ему заблагорассудится, не испытывая особых затруднений ни со специальной бумагой, ни с пропускной

способностью печатного станка. Для этого эмитенту достаточно наставить на печатаемых купюрах несколько лишних нулей.

Так что же такое бумажные деньги, и при каких условиях это гениальное изобретение, обладающее столь существенными недостатками, указанными выше, может играть роль универсального менового средства? Довольно объективным можно считать следующее определение:

Деньги - это правовая субституция товара, а денежная купюра - документ, подтверждающий право его владельца на определенную, абстрактную, долю полезности, содержащуюся в любом наборе товаров, представленных на рынке. Охрану этого права гарантирует эмитент, в роли которого выступает, как правило, государство.

Купюра эта имеет стабильную цену (и ценность) тогда, и только тогда, когда владелец купюры в любое время и в любом месте спокойно может обменять ее на соответствующее фиксированное количество товара. Общая стоимость всей массы денег, выпущенных в обращение всегда равна общей стоимости всех товаров, имеющих на рынке, то есть равна единице. Таким образом, инфляция есть не что иное, как понижение цены денег при увеличении общей их массы, находящейся в обращении.

Государство - эмитент, выпуская деньги, устанавливает их номинальную стоимость по своему усмотрению, и заявляет при этом, что общая стоимость выпущенных денег обеспечивается стоимостями всех ценностей, находящихся во владении у государства. Поскольку проверить величину этих, принадлежащих государству ценностей нет никакой возможности, то на практике реальная гарантия стоимости денег со стороны государства - эмитента состоит, во-первых, в том, что значительная часть товаров и услуг, производящихся на предприятиях, принадлежащих государству, обменивается на эти деньги по стабильным ценам. Кроме того, дополнительной, и весьма весомой гарантией является воз-

возможность свободно обменивать выпущенные государством деньги на золото, принадлежащее государству (государственному банку). Таким образом, золото, утратив функции непосредственно менового товара, сохранило свойства определенного эталона ценности.

В ряде случаев государство, пытаясь решить сложные экономические проблемы, значительно увеличивает эмиссию бумажных денег, уверяя участников рынка, что их номинальная стоимость сохраняется. Однако на рынке, практически через некоторое время, устанавливается реальная равновесная стоимость этих денег и происходит процесс их удешевления, который называется инфляцией. В странах с административно - централизованной системой управления экономикой государство может не допустить естественного в этом случае роста цен, однако при этом резко возрастает дефицит товаров. Это тот самый случай, когда ЛПР, принимая решение, получает результат, противоположный ожидаемому. Подробнее механизм этого явления будет рассмотрен в последующих разделах.

Теперь, в предположении, что имеется прекрасный механизм для товарообмена (идеальный рынок), эффективно функционирующий, благодаря наличию прекрасного менового средства - стабильных денег, можно рассмотреть механизм мотивационного управления процессом производства товаров, действующий в условиях свободного товарообмена. Рассмотрение начнем с отдельного производителя.

9.5 Рыночный механизм мотивационного управления отдельным производителем

Отменим вначале одно из ограничений, принятых в модели идеального рынка, а именно - допустим, что новый товар на рынок поступает, но с той же интенсивностью, с которой часть товаров с рынка убывает. Но происходит это в таких количествах и в таких ценовых пропорциях, что ограничения, наложенные на вектор цен, выполняются. При этом

правда на модифицированном рынке не может быть достигнуто состояние равновесия - то состояние, когда все участники произвели все благоприятные обмены, больше им обмениваться незачем и процесс обмена прекращается. Но нас такое равнове-

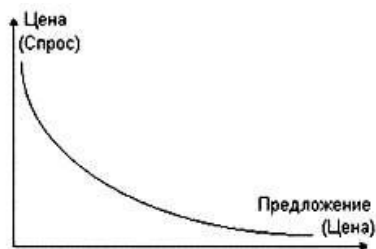


Рис. 9.1 Взаимосвязь цены, спроса и предложения

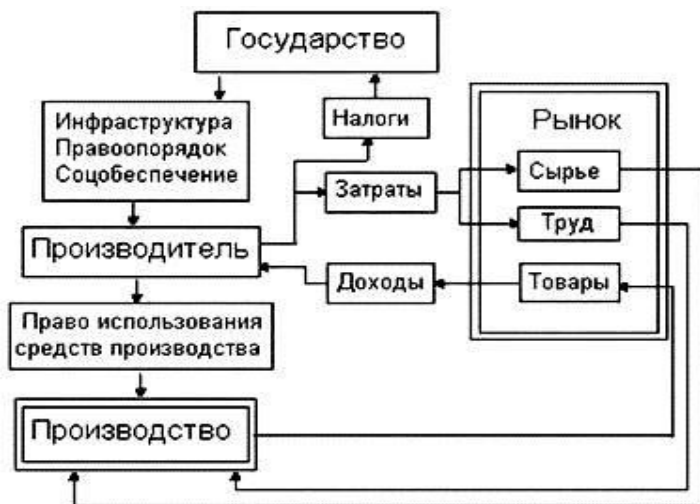


Рис. 9.2 Контуры рыночного механизма мотивационного управления производством

сие и не интересуется.

Для нашего дальнейшего рассмотрения принципиально важна одна единственная закономерность, заключающаяся в том, что с ростом предложения любого товара цена на него уменьшается, и, наоборот - с ростом цены спрос на данный товар падает, как это представлено на рис. 9.1.

Однако для отдельного производителя и эта закономерность не является существенной, если объем производимой

им продукции таков, что не может повлиять на рыночное равновесие и на баланс цен.

Блок-схема процесса мотивационного управления производством при чисто рыночной экономике представлена на рис. 9.2. Как видно из этой блок-схемы, на процесс производства воздействуют два контура обратной связи. Один из контуров замкнут через рынок, и действует следующим образом. Производитель, обладающий начальным капиталом и *правами собственности* на средства производства, делает начальные затраты, закупаая на рынке сырье и труд. (Напомним, что по Марксу труд также является товаром - и в этом мы полностью с ним согласны). Затем это сырье и труд поступает на производство, куда Производитель вносит в качестве вклада еще и *право использования средств производства*. Произведенный товар поступает на рынок, продается по рыночным ценам и вырученная сумма возвращается производителю в виде Дохода.

Разница между Доходом и Затратами составляет Прибыль Производителя, ради которой он и организывает производство. В значительной мере все происходит по классической формуле Маркса: “Деньги - Товар - Деньги” с одной весьма существенной поправкой: Маркс считает, что разница между прямыми производственными затратами и выручкой принадлежит рабочим, которые получают за свой труд меньше того, что было добавлено к стоимости сырья за счет их труда. Вот эту разницу (“Прибавочную стоимость”) производитель, по мнению Маркса, присваивает незаконно, в чем собственно и заключается “эксплуатация”. При этом Маркс “не замечает” двух принципиальных моментов. Во-первых, рабочий продает свой труд *добровольно*, на свободном рынке и получает за свой труд *рыночную* стоимость труда. (Именно так утверждает сам Маркс). Выбора у рабочего нет - не он продаст свой труд, так это сделает другой. Рынок есть рынок, и претендовать на доход, больший, чем стоимость “продаваемого” рабочим товара, каковым является его

труд, у рабочего нет никаких оснований. А у производителя? Маркс считает, что производитель имеет право на возврат лишь стоимости вложенных им прямых затрат на труд и сырье, “не замечая”, опять же, что производитель вкладывает еще и *право использования* средств производства. С одной стороны Маркс прав, заявляя, что прирост стоимости товара по сравнению со стоимостью затраченного на него сырья достигается исключительно за счет стоимости вложенного в товар труда.

Но стоимость этого труда принципиальным образом зависит от возможности использования средств производства. Что будет стоить, например, труд квалифицированнейшего шлифовальщика или расточника и, вообще, любого другого станочника, если у рабочего не будет станка? А у водителя автобуса или машиниста поезда? Для того чтобы труд квалифицированного рабочего имел хоть какую-нибудь ценность, рабочий должен получить доступ к средствам производства. Нормальный путь к этому - заплатить производителю за право использования (за аренду, если угодно) рабочего места. Таким образом, стоимость товара складывается из рыночной стоимости сырья (включая естественно энергию), *рыночной* стоимости труда и *рыночной* стоимости аренды рабочего места.

Последняя стоимость определяется, главным образом, умением производителя организовать производство. Чем удачнее, а главное, грамотнее производитель организует производство, чем большим спросом пользуется производимый товар у покупателя, тем большую цену в виде прибыли получает производитель за предоставляемое им для рабочего право использования рабочего места. *И никакой прибавочной стоимости не существует!* Свою прибыль производитель получает совершенно справедливо. Да, действительно, вся добавленная к стоимости сырья стоимость создана за счет труда рабочего. Из этой добавленной стоимости рабочий получает свою долю в виде оплаты своего труда по рыночной

стоимости, из этой же добавочной стоимости вычитается плата рабочего за предоставленное ему рабочее место. Аналогично тому, как на рынке взимается плата с каждого продавца за используемое им торговое место.

Мотивационное управление действует здесь эффективно и очень просто. Величина прибыли является для производителя сообщением, несущим в себе и *мотивацию, и инструкцию, и ориентировку*. В самом деле, как только качество товара снижается или товар морально устаревает, или нужда в этом товаре снижается - тут же сокращается спрос, снижается прибыль, следовательно, необходимо принимать новое решение.

В годы социализма насаждалось предубеждение против материальной мотивации. Считалось, что она способствует принижению духа, что возвышенным сторонам человеческой натуры гораздо более подходит чисто моральная мотивация. Дескать, только она стимулирует человека трудиться на благо всего общества. На самом же деле все наоборот. Различные моральные стимулы (ордена, звания и пр.) распределялись волей ограниченного круга людей, которые интерпретировали понятие “благо всего народа” по своему усмотрению и посему ориентировали добросовестных (а уж тем более недобросовестных) людей производить не то, что нужнее всего обществу, а то, что считали нужным правители страны.

Совсем иное дело свободный рынок. Равновесные цены на нем устанавливаются путем естественной интеграции всех индивидуальных запросов и наилучшим образом отражают общественные потребности. Так что производитель, стремящийся получать наибольшую прибыль в своих *сугубо собственных* интересах, тем самым наиболее точно ориентирован на удовлетворение потребностей общества, ибо иного способа получить наибольшую прибыль, чем произвести большое количество высококачественного товара при минимальных затратах сырья и труда в условиях свободного рынка просто не существует. Таким образом, если моральные

стимулы продуцируют, в основном, только мотивацию, то прибыль, как уже было сказано несет в себе и инструкцию, и ориентировку.

В условия полной свободы выбора характера производства и ассортимента производимых товаров на производителя действует лишь одно ограничение - он не может производить товар, рыночная стоимость которого будет равна или, тем более, будет ниже, чем стоимость необходимого сырья и труда. Ибо не получая прибыли, производитель не может содержать, а тем более развивать принадлежащие ему средства производства. А в остальном - полная свобода для предпринимательства. Но, конечно, не все просто и замечательно в условиях абсолютно свободного рынка.

Если ассортимент товаров, производимых для рынка, ничем не контролируется, то неизбежным становится появление таких товаров и услуг, которые, являясь по разным причинам весьма прибыльными, наносят обществу непоправимый вред (наркотики, оружие, алкогольные напитки, табачные изделия, проституция, игорный бизнес и т. д.). Во всем мире давно поняли, что до полного искоренения производства таких товаров и услуг еще очень и очень далеко, а посему, раз уж с их производством приходится мириться, то по крайней мере, это производство целесообразно поставить под контроль государства.

Наиболее “мягкий” экономический контроль ряда не очень желательных, однако разрешенных к производству товаров и услуг осуществляется по второму контуру обратной связи, замкнутому на производителя через его отношения с государством. В идеале эти отношения должны быть сродни рыночным. Производитель вносит государству определенные платежи (Налоги), являющиеся платой за Услуги. Услуги, которые государство предоставляет в обмен на налоги, это, во-первых, развитая инфраструктура (дороги, транспорт, связь, энергия, образование, наука и др.). Далее, обеспечение правопорядка (охрана жизни, чести и имущества производи-

теля от посягательств как внутри страны, так и со стороны возможных интервентов) и социальное обеспечение (приличные жизненные условия для пожилых, больных, нетрудоспособных людей).

Однако от чисто рыночных эти отношения с государством отличаются тем, что цену за все услуги, оказываемые государством, устанавливаются самим государством в сугубо одностороннем порядке путем регулирования уровня налогов, а производитель, являясь одной из сторон, полностью лишен права выбора. Таким образом, государство получает в свои руки могучий рычаг управления объемом и *ассортиментом* производимых товаров. В самом деле, в условиях, когда единственным источником дополнительных средств для производителя является *чистая прибыль*, производитель может производить лишь такой товар, доход, от продажи которого будет превышать сумму *общих расходов*, в которые, наряду с производственными затратами на труд и сырье, надлежит включать и налоги.

Стало быть, чем выше поднимается планка взимаемых налогов, тем меньше возможности для производства товаров массового потребления, приносящий невысокий уровень доходов. Эти товары “вымываются” из производства, общее производство сокращается и происходит постепенное “удушение” экономики. Но если уровень налогов установлен на разумном уровне и экономика процветает, то наличие контура обратной связи через налоговую систему оставляет в руках государства рычаг регулирования уровня производства отдельных товаров, путем введения дифференцированного налогообложения. Управление по этому контуру позволяет также, при желании, регулировать предельный уровень получаемой прибыли путем введения нарастающих налоговых ставок в зависимости от уровня получаемой прибыли.

9.6 Рыночный механизм мотивационного управления ансамблем производителей

Если перейти к рассмотрению механизма управления, действующего не только на отдельного производителя, а на всю их совокупность, занятую в национальной экономике, то главное отличие будет состоять в следующем. Если отдельный производитель не может, как правило, повлиять на уровень цен на производимую им продукцию, то ансамбль производителей, занятых в определенной сфере производства, как раз этот уровень и определяет, в зависимости от общего объема производства определенных товаров. Теперь при анализе контуров обратной связи необходимо учитывать основную закономерность рыночного механизма, представленную на рис. 9.1. - чем выше объем производства какого-нибудь товара, чем в больших объемах предлагается он на рынке, тем по меньшей цене он может быть, распродан. Общий характер воздействия механизма свободного рынка на производство представлен совокупностью графиков на рис 9.3.

Рассматривается ситуация, когда какой-нибудь товар (группа товаров) поставляется на рынок некоторой совокупностью независимых производителей, каждый из которых находится под управлением первого контура обратной связи (через рынок) и данный товар поставляется *только* этими производителями. Воздействие второго контура (через государство) пока не учитывается.

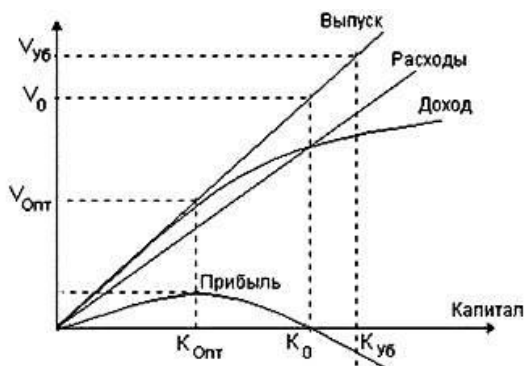


Рис. 9.3 Взаимосвязь объемов выпуска, прибыли и вовлеченного капитала в рыночной экономике

Для простоты принято, что общий объем поставляемого товара (Выпуск) связан с общим количеством вовлеченного в производство этого товара (Капитал) простой линейной зависимостью. Естественно, что аналогичной линейной зависимостью описывается и уровень затрат (Расход), необходимый для производства данного товара. Для каждого из производителей действуют одинаковые закономерности мотивационного управления по первому контуру обратной связи, как это показано на блок-схеме, представленной на рис. 9.2.

Однако теперь, в отличие от ситуации для одиночного производителя, при рассмотрении ансамбля производителей необходимо учитывать влияние общего объема Выпуска на уровень рыночной цены на данный товар. Как видно из закономерности, представленной на рис. 9.1., которая неукоснительно действует в любой ситуации, где имеет место свободный обмен, цена на выпускаемый товар неуклонно снижается с ростом объема его выпуска. Следовательно, с ростом объема вовлеченного в производство товара капитала темп роста дохода от его реализации будет постоянно снижаться и при каком-то значении K_0 Доход сравняется с Расходом и Прибыль, равная разности между этими величинами станет равной нулю. При дальнейшем увеличении вовлеченного капитала производство вообще становится убыточным.

Как видно из рис. 9.3., существует оптимальная величина вовлеченного капитала $K_{\text{опт}}$, при которой прибыль достигает своего максимального значения, а объем выпуска равен величине $V_{\text{опт}}$. Самым замечательным свойством рыночного механизма мотивационного управления является его *самонастраиваемость*. Значение величины $K_{\text{опт}}$ не требуется ни вычислять, ни прогнозировать (да это и невозможно осуществить с достаточной для практики точностью) - при взаимодействии через свободный рынок эта величина для каждой группы однородных товаров устанавливается *автоматически*. Для рассмотрения механизма этого автоматического саморегулирования нам следует возвратиться к блок-схеме

адаптивной системы управления, показанной в шестой главе на рис. 6.10.

В терминах системы адаптивного управления воздействие свободного рынка на ансамбль производителей однородного товара воздействует один регулировочный параметр - средняя норма прибыли. Действие этого регулировочного параметра заключается в следующем. В начальной стадии разворачивания выпуска какого-нибудь нового товара объем вовлеченного капитала заведомо меньше, чем величина $K_{\text{опт}}$. До той поры, пока объем выпуска не в достаточной степени удовлетворяет потребностям общества, цены на него устанавливаются на достаточно высоком уровне, сбыт не представляет проблем и каждое увеличение выпуска сопровождается приростом получаемой прибыли. Пока такая ситуация сохраняется, к производству данного товара подключаются новые и новые производители, вкладывая новые средства и увеличивая, тем самым общий объем вовлеченного капитала.

Так происходит до тех пор, пока величина вовлеченного капитала не достигнет значения $K_{\text{опт}}$. При этом значении *относительная* величина общей прибыли достигает значения *нормы прибыли*, которая на свободном рынке формируется автоматически и имеет одинаковое значение для всех без исключения товаров, обращающихся на рынке. При попытках новых производителей присоединиться к данному виду производства, они выясняют, что получаемая при этом прибыль оказывается ниже средней нормы прибыли, стало быть, это производство для “новобранцев” неперспективно. Действующие же производители сталкиваются с тем, что при попытках дальнейшего расширения производства они сталкиваются с трудностями сбыта, поэтому “консервируют” объемы выпуска с тем, чтобы получаемая прибыль оставалась на уровне не ниже средней нормы прибыли.

Если по каким-то причинам спрос на данный товар снижается (например, в связи с началом стадии морального старения), а снизить себестоимость (то есть уровень расхо-

дов) не удастся, то общий объем прибыли начинает снижаться (вследствие необходимости снижения цены) и относительный ее уровень становится ниже средней нормы прибыли. В этой ситуации часть производителей переключается на иное, более прибыльное производство. Общий выпуск исходного товара начинается снижаться, что позволяет поддерживать цены на уровне, обеспечивающем получение средней нормы прибыли.

Таким образом, рыночный механизм мотивационного управления производством обеспечивает достаточно четкую сбалансированность объемов выпуска всех видов товаров в полном соответствии с потребностями общества как по количеству выпускаемых товаров, так и по их качеству. Никаких Госпланов, Госснабов, Госкомцен и прочих “Госрегулирующих” не требуется, за исключением хорошо отлаженной и четко функционирующей системы налоговых органов. Уровень вводимых налогов, который является еще одним регулирующим параметром в системе адаптивного управления, является на макроэкономическом уровне мощным механизмом регулирования. Использование только этого механизма дает полную возможность компетентному правительству обеспечить развитие национальной экономики с учетом не только стихийного спроса, но и осознанного понимания общественного блага.

9.7 Взаимодействие мотивационного и командного управления национальной экономикой

Если национальная экономика не является рыночной, а действует в условиях сугубо централизованного жесткого административно - командного управления, то руководство страны, пытаясь обойтись без рыночного механизма регулирования, вынуждено вводить ряд дополнительных искусственных регуляторов, действие которых, как правило, влечет за собой серьезные негативные последствия. Одним из таких регуляторов, действовавших в годы социализма, был

механизм жесткого регулирования цен и поддержания их на экономически неоправданном низком уровне, значительно более низком, чем равновесный уровень рыночной цены.

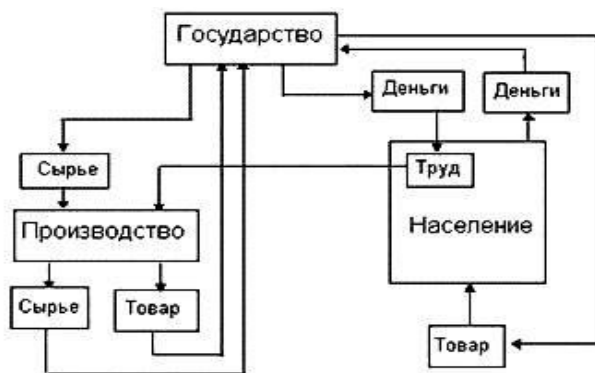


Рис. 9.4 Взаимодействие государства, производства и населения в административно-командной системе управления

В глазах населения подобный курс выглядит весьма привлекательным и создает для руководства страны благообразный имидж “отцов народа”. На самом же деле этот курс является весьма неблагоприятным как для национальной экономики в целом, так и для всего населения. Рассмотрим вначале блок-схему, типичную для административно-командного управления национальной экономикой на макроэкономическом уровне, которая представлена на рис. 9.4.

При тоталитарном режиме централизованного командного управления Производитель, как экономическая категория, по существу отсутствует. Его роль берет на себя государственный аппарат, превращая тем самым государство в единого производителя, владеющего всеми средствами производства и обладающего неограниченной монополией.

Рынок, как таковой тоже формально отсутствует, точнее - представлен всего двумя коллективными участниками. Одним из участников является государство, которое, будучи естественным и неограниченным монополистом, предлагает для продажи товар по тем ценам, которые считает целесообразным назначать. Второй участник рынка - население, нахо-

дящееся в явно неравноправном положении, поскольку единственный товар, который население может предложить для обмена - это труд, за который государство платит, опять же, по ценам, устанавливаемым государством произвольно. Неравноправность населения как партнера заключается в том, что свой труд оно может продавать только государству, ибо выхода на другого покупателя население не имеет. Государство же имеет еще один выход - на внешний рынок. И если население откажется покупать товары у государства из-за неподходящих цен, то государственный аппарат имеет дополнительный источник финансирования за счет экспорта (для простоты на схеме этот контур не показан).

Декларируя неусыпную заботу о благе народа, государственный аппарат вводит в адаптивную систему управления нормативный параметр, обеспечивающий поддержание цен на неоправданно низком уровне. При этом неизбежно возникает проблема дефицита товара. Как видно из рис. 9.3., произвольно задаваемый низкий уровень цен может стать равновесным, если, установить нормативно объем выпуска на уровне $V_{уб}$. Тогда при сбыте товара по равновесным рыночным ценам население получает большое количество товаров по низким ценам, производимое тем сектором экономики, который теперь является убыточным. В принципе, если такая политика проводится государством в отношении отдельных социально значимых товаров (хлеб, медикаменты и т. п.), то ничего плохого в этом нет, если только убыточность отдельных секторов экономики покрывается за счет других секторов, производящих предметы престижа и роскоши (автомобили, ковры, ювелирные изделия и пр.).

Однако тоталитарный режим, как правило, частичным “регулированием” не ограничивается и вводит дополнительные регуляторы, действие которых, вступая в противоречие с незыблемыми экономическими законами, усугубляет общий разлад экономики. Дело в том, что фундаментальный эконо-

мический закон, гласящий, что равновесная рыночная цена определяется соотношением между спросом и предложением, действовал, действует и будет действовать во все времена, эпохи и экономические формации, независимо от того, “признает” ли действие этого закона правящий режим. А последствия “непризнания” этого закона иллюстрируются на рис. 9.5.

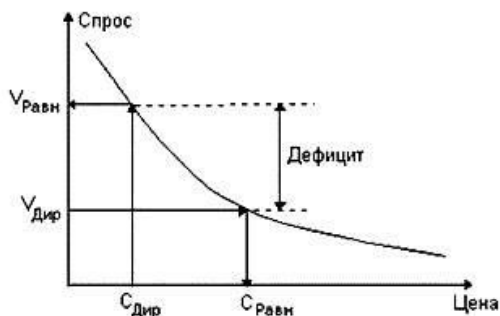


Рис. 9.5 Динамика формирования искусственного дефицита при административно-командном управлении

Если исходить из реального факта объективного существования зависимости между спросом и ценой, представленной на рис. 9.5., то ясно, что произвольно может быть задана лишь одна из величин, связанных указанной закономерностью - либо цена товара $C_{\text{дир}}$, и тогда равновесный выпуск определяется величиной $V_{\text{равн}}$, либо директивно можно задать объем выпуска $V_{\text{дир}}$, но тогда равновесная цена $C_{\text{равн}}$ должна определяться рынком.

На практике же в годы социализма, упрямо пренебрегая фундаментальными законами экономики, руководство назначало директивные уровни для обеих взаимосвязанных величин. Причем делалось это разными государственными органами, действовавшими практически независимо друг от друга. Госкомцен, руководствуясь декларируемой политикой “низких” цен, назначал, например низкую цену $C_{\text{дир}}$ на

какой-нибудь товар, пользующийся большим спросом у населения. Для того чтобы эта цена была равновесной, следовало бы и выпуск назначать на уровне $V_{\text{равн}}$. Но Госплан, исходя из скудных возможностей разваливавшейся экономики, устанавливал выпуск на уровне $V_{\text{дир}}$. При этом объеме выпуска товар разошелся бы и по цене $C_{\text{равн}}$. Однако нормативно цена поддерживалась на уровне $C_{\text{дир}}$, *формально* доступном для малообеспеченных слоев населения.

В результате этого действия и образовывалось то специфическое явление, свойственное исключительно административно-командной системе, являющееся, если можно так сказать ее уникальным “изобретением”. Речь идет о дефиците товара, который образуется за счет разности между равновесным $V_{\text{равн}}$ и директивным $V_{\text{дир}}$ уровнями выпуска. И низкая цена оказывалась чистейшим обманом. Покупатель шел в магазин, видел там интересующий его товар на витрине - скажет автомобиль, стоимостью в пять тысяч рублей, доставал пять тысяч рублей из кармана, но ... автомобиля по этой фиктивной цене не получал. Автомобили, как и все прочие товары, всегда продавались по равновесной рыночной цене, которая для подавляющего числа качественных товаров была значительно выше фиктивной.

Происходило это следующим образом. В условиях отсутствия товара в свободной продаже человек либо покупал его у спекулянта, выплачивая последнему разницу между равновесной и директивно-фиктивной ценой, либо ждал в очереди много - много лет (а это тоже доплата) причем весьма значительная. И был третий путь - для избранных. Человек приносил в магазин установленную сумму бумажных “денег” и плюс к ним - еще одну небольшую бумажку - *право на приобретение*. Естественно, что раз эта бумага, добавленная к обычным деньгам, позволяла получить желаемый товар незамедлительно, то значит, ее *реальная* рыночная стоимость и составляла ту надбавку к номинальной цене, ко-

торая назначалась спекулянтами. Кстати говоря, такие бу-
мажки часто именно по такой цене и продавались.

Таким образом, командная система “сломать” экономи-
ческий закон не смогла, но обеспечивала относительное ры-
ночное равновесие, введя в оборот два вида денег. Один вид
- официально признанные денежные знаки, которыми госу-
дарство расплачивалось с населением. Второй - сугубо спе-
цифичный различные документы на право внеочередного
приобретения дефицитных товаров, которыми верхушка
подкармливала (и весьма недурно) поддерживающий ее ад-
министративно - бюрократический аппарат.

Подробный анализ тяжелых экономических послед-
ствий такой дуальной денежной системы мог бы стать со-
держанием отдельной книги и выходит за рамки нашего рас-
смотрения, которые мы вынуждены на этом месте оборвать.
Необходимо только указать, что описанная система вовсе не
была продуктом какого-либо недомыслия, а наоборот являла
собой пример глубоко проработанной политики одурманива-
ния масс. Действительно, на практике все выглядело весьма
демократично. Официальная зарплата высших чиновников и
руководящих партийных бонз поддерживалась на весьма
“демократичном” уровне. Например, в 80-х годах примерно
одинаковую зарплату имели и министр, и водитель автобуса.
И квартиру тот и другой получали бесплатно. Только разли-
ца между этими квартирами, их размерами, отделкой, срока-
ми получения была весьма и весьма существенной. Не говоря
уж о таких мелочах как санатории, продукты из спецраспре-
делителей и тысячи - тысячи других “мелких” различий, ко-
торые повышали реальный доход министра в десятки, а то,
пожалуй, и в сотни раз.

И развитию экономики командная система, мягко гово-
ря, не способствовала. Обратим внимание на принципиаль-
ные различия в блок-схемах, представленных на рис. 9.2. и
рис. 9.4. В первом случае жесткая обратная связь через ры-
нок заведена на каждого производителя индивидуально, за-

ставляя последнего проявлять изобретательность, предприимчивость, находчивость в полном объеме своего творческого потенциала. В самом деле, каким нормальным образом можно получить повышенную прибыль в условиях регулирующего воздействия средней нормы прибыли? Путь один - необходимо постоянно совершенствовать производство, снижать непроизводительные расходы, интенсивно внедрять новейшие технологии.

Производитель, который за счет всего этого сумеет оторваться по уровню потерь от своих конкурентов, сможет в течение определенного периода получать сверхприбыль, пока его конкуренты, в свою очередь модернизируя и совершенствуя производство, не догонят и не перегонят его. Значит, рыночный механизм мотивационного управления стимулирует интенсивное развитие технического прогресса и незамедлительное внедрение его реальных достижений. А это, в свою очередь, стимулирует постоянное снижение цен на товары массового потребления и достижение действительно низких цен без возникновения дефицита. В качестве примера достаточно указать на изделия вычислительной техники.

Кстати, почему именно вычислительной техники? Есть у рыночной экономики еще одна особенность. Наиболее выгодным рыночным товаром являются изделия высоких технологий, имеющие большую долю вложенного в их производства интеллектуального труда. Тем сложнее технология производства изделия, чем больше интеллекта оно требует для своего производства, тем большую возможность оно дает для внесения дальнейших усовершенствований, тем больший уровень сверхприбыли можно получить при его производстве. Таким образом, помимо стимулирования постоянного удешевления товаров массового потребления, рыночный механизм является могучим стимулятором технического прогресса. Достойной альтернативы рыночному механизму мо-

тивационного управления не предвидится ни в ближайшем, ни в отдаленном будущем.

Видимо, из подобных радужных представлений исходили общественные и политические деятели, боровшиеся за перестройку, за переход нашей страны к рыночным отношениям. Увы, суровая реальность опрокинула идеалистическое представление о рынке, как волшебном механизме, автоматически обеспечивающем переход к экономическому благоденствию. Те реальные свойства рынка, которые не учитывались при рассмотрении идеализированной концептуальной модели, обернулись на практике своей негативной стороной. Разразившийся мировой экономический кризис показал, что неконтролируемое действие могучего рыночного механизма, распространенного на всю мировую экономику, при отсутствии эффективной международной системы мотивационного управления, чревато глобальными потрясениями.

Однако затронутая проблема требует отдельного серьезного рассмотрения на совершенно ином уровне.

Глава 10. Справедливые дележи и эффективный выбор (модели принятия коллективных решений)

10.1 Введение

В последние годы кардинально изменения произошли в социально-экономической базе здравоохранения, социальной сферы и других сфер общественной жизни. Это - переход от "бесплатной" к страховой медицине, развитие коммерческих медицинских и здравоохранительских структур, переход к платной системе образования и т.п. В связи с этим, весьма актуальной становится проблема принятия решений по "справедливому" (в определенном смысле!) дележу различных ресурсов и потенциальных возможностей.

Этот круг проблем вырос за последние годы в отдельное направление, в которое включаются также проблемы агрегации мнений различных участников (экспертов) при выборе одной из многих альтернатив.

Классическая теория принятия решений предлагает модели эффективного сравнения альтернатив по совокупности присущих им свойств и ожидаемых последствий. При этом в неявном виде подразумевается, что сравнение (выбор) альтернатив осуществляется одним экспертом. Либо, если и группой экспертов, то такой, в которой социальная значимость различных высших целей более или менее совпадает. А если и не совпадает, то вопрос о том, как именно осуществляется интеграция социальных интересов и устремлений классическая теория принятия решений не рассматривает. Не рассматриваются в ней и такие ситуации, когда коллективное решение должно приниматься группой лиц с конкурирующими интересами и устремлениями.

Гораздо подробнее вопрос агрегирования экспертных оценок рассматривается в отдельном направлении исследования операций именуемом "Экспертные оценки". Здесь излагаются различные подходы учета разности мнений, методы конкордации и т.п. Но, по существу, дело до конца не доводится. Методология обработки экспертных оценок позволяет лишь отделить ситуации, в которых наблюдается достаточное совпадение мнений экспертов, и тогда их мнение можно считать коллективным от случаев, когда явный разницей в оценках экспертов крайне затрудняет (если вообще не исключает) такой выбор альтернативы, который можно считать коллективным.

В настоящей главе как раз и рассматриваются такие ситуации - мнения и предпочтения весьма различны, а выбор все равно делать надо! Крайне важно сразу отметить, что исчерпывающее решение задача коллективного выбора имеет лишь при двух альтернативах. Если же альтернатив три и более, то при использовании любого механизма выбора

(механизм простого большинства, механизм квалифицированного большинства, учет индивидуальных весов значимости экспертов и т.п.) выясняется неизбежность нарушения одного или нескольких общепризнанных принципов.

Между тем, в настоящее время масса деятелей (депутатов, публицистов, лидеров различных партий) выглядят порой весьма эффектно, призывая к решениям (или обещая их реализовать в случае прихода к власти), якобы базирующимся на массе замечательных принципов, нисколько, при этом, не заботясь о том, что одновременное удовлетворение всем принципам физически не осуществимо.

Уточним, что мы имеем в виду под принципами и как эта категория - "Принципы" соотносится с категорией "цели" в модели принятия решений. Морфологическая модель взаимоотношений между категориями **Альтернатива**, **Цель**, **Основные принципы**, представлена на рис. 10.1., из которого

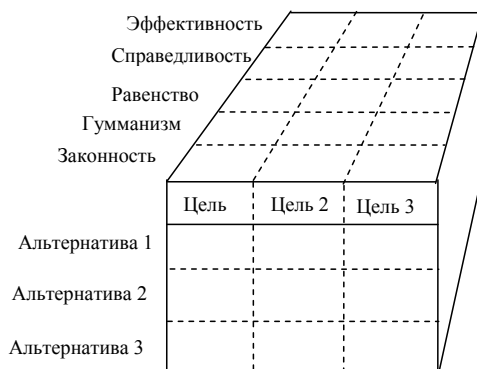


Рис. 10.1. Взаимосвязь категорий: Альтернатива, Цель, Основные принципы

Основные принципы, представлена на рис. 10.1., из которого видно, что значимость (важность) назначаемых целей должна определяться экспертами не на основе собственных представлений, а исходя из того, какие из принципов данной целью поддерживаются, а каким эта цель может просто противоречить. То есть, значимость должна априорно задаваться не **Целям**, а **Основным принципам**, которые общество исповедует. При этом надо отчетливо понимать, что практически всегда один, а то и несколько принципов неизбежно будут нарушаться при выборе любой цели. То есть не существует таких целей, которые, способствуя торжеству каких-либо

принципов, не попирали бы при этом ряд других, не менее замечательных, принципов.

Пример: Приднестровье, Карабах, Абхазия, Южная Осетия - В этих и других подобных регионах, где уже много лет явно или подспудно полыхает (или тлеет) пламя гражданских межусобиц, столкнулись в непримиримом противоречии два фундаментальных принципа, исповедуемых Организацией Объединенных Наций - Принцип **неприкосновенности** границ и Принцип права каждой нации на **свободное самоопределение**. Так вот, когда реализуется это право и республика Абхазия выходит из состава Грузии, то нарушается принцип незыблемости границ и наоборот...

В настоящей главе мы не будем рассматривать готовые рецепты принятия решений, а будем анализировать различные возможные механизмы выбора и сравнивать их с точки зрения того, какие из исповедуемых нами принципов "справедливости" нарушаются. А нарушаются они почти неизбежно! А затем уже с "открытыми глазами" можно идти на компромисс, т.е. на неизбежное нарушение некоторых наших принципов. Вначале будем рассматривать возможные механизмы "справедливых" дележей.

10.2 Понятие о справедливых дележах

Само понятие "справедливость" зависит от принятия в качестве первичного одного из двух полярно противостоящих принципов: эгалитаризма или утилитаризма.

10.2.1 Эгалитаризм и утилитаризм.

Сопоставление подходов, приведенных в заголовке, осуществляется обычно на основе "теории благосостояния" Аксиоматическая теория благосостояния представляет задачу принятия коллективного решения на основе сопоставления индивидуальных уровней полезности доставляемых каждому из участников каждой из рассматриваемых альтернатив. То есть, сопоставляются вектора

$$V_j = (v_{1j}, \dots, v_{ij}, \dots, v_{nj}),$$

где i - индекс участника, а j - индекс рассматриваемой альтернативы.

Коллективное решение при заданном множестве допустимых векторов полезностей является результатом применения математического детерминированного правила, которое выделяет один вектор в качестве выбора сообщества. Это правило отображает всю систему этических представлений рассматриваемого сообщества. При формировании такого правила конкурирующими являются два подхода: эгалитаризм (стремление уравнивать индивидуальные полезности) и классический утилитаризм (максимизация суммы доставляемых индивидуальных полезностей).

Эгалитаризм базируется на древнейшем и наиболее популярном принципе справедливости: к равноправным участникам должно быть равное отношение. Применение этого принципа ведет к выравниванию доставляемых участникам полезностей. Однако, несмотря на кажущуюся простоту, этот принцип может вступать в противоречие с другим основным постулатом коллективного принятия решений, известным под названием принципа единогласия.

Принцип единогласия состоит в том, что в случае, когда каждый участник предпочитает решение, a решению b (говорят, что решение b доминируется по Парето решением a), решение b не должно быть принято. Выбранный на основе принципа единогласия вектор полезностей обязательно является оптимальным по Парето (или, иными словами, он не может доминироваться по Парето никаким допустимым вектором полезностей).

Принцип единогласия может вступать в противоречие с простым выравниванием доставляемых индивидуальных полезностей. Этот, казалось бы, противоестественный факт

имеет название "*дилемма Равенство - Эффективность*". Для ее решения требуется более точно определить эгалитарную программу: - это программа максимизации по лексическому упорядочению.

Эгалитаризм сильно цементирует сообщество. Однако бывают случаи, когда принципы эгалитаризма трудно воспринимаемы. Пусть, например, выделена приличная сумма на здравоохранение (какой-то спонсор подарил небольшому городу полмиллиона долларов), и объявлена эгалитаристская цель - обеспечения по возможности равного уровня здоровья населения. Тогда, в соответствии с принципами эгалитаризма, может оказаться, что всю эту сумму следует затратить на приобретение одного дорогостоящего агрегата, предназначенного для продления жизни какого-то одного тяжело больного, а для всего остального населения не останется средств ни на аспирин, ни на антибиотики, ни на одноразовые шприцы.

По-видимому, в такой ситуации большинство людей захочет использовать эти доллары более "полезным" способом, безоговорочно отрицая тем самым эгалитарную программу, предпочитая ей утилитарный подход. Классическая утилитарная программа заключается в максимизации суммы индивидуальных полезностей. Основное положение, которое приводит к классическому утилитаризму, состоит в том, чтобы считать сопоставимыми и полностью аддитивными приращения полезностей, доставляемых различным участникам (с разными исходными уровнями полезностей.) При утилитарном подходе прибыль в один миллион долларов, полученная хотя бы одним из членов сообщества, полезнее, чем пятьсот тысяч, полученные пятьюстами членами по тысяче долларов каждому.

В примере с медицинским обслуживанием, если полезность измерять приращением продолжительности жизни (суммарным или средним), то классический утилитаризм ориентирует на такую затрату каждого добавочного (марги-

нального) доллара, которая максимизирует суммарное приращение ожидаемой *суммарной* продолжительности жизни. Ясно, что совершенно неприемлемым следствием такого подхода, доведенного до догмы, состоит в том, что жизнью людей, имеющих тяжелые врожденные заболевания, можно пренебречь.

Приверженец эгалитаризма рассматривает индивидуальные приращения полезностей как окончательную и не поддающуюся улучшению оценку приращения благосостояния сообщества. При этом любые компенсаторные зачеты приращений участников запрещены. Существенное увеличение полезностей для всех участников, кроме одного, не стоит даже небольшого уменьшения полезности для одного единственного участника, который оказался наименее удачливым из всех. ("Все счастье мира не стоит слезы одного единственного ребенка" Достоевский). Но, с другой стороны, сравните: - "Я знаю, что гвоздь у меня в сапоге кошмарней трагедии Гете!" (В. Маяковский)

Итак, принцип единогласия (если для всех участников решение X лучше решения Y , то решение Y не должно быть принято) удовлетворяет также принципу оптимальности по Парето. Оптимальным по Парето решением является такое решение X , что для любого другого решения Z если кто-то (хотя бы один из участников) считает, что Z лучше X , то кто-то другой считает, что X лучше Z .

Оптимальное по Парето решение называется также эффективным решением. Удивительно, но факт, что принципы единогласия и равенства могут быть несовместимыми. При этом возникает дилемма "Равенство - Эффективность".

Пример 10.1. Размещение объекта.

Для двух городов одинакового размера необходимо выбрать место для размещения совместного предприятия сферы обслуживания - СМП. Города A и B соединены двумя до-

рогами: 5 км и 3 км. На участке дороги от C до B (длина - 2 км) строить нельзя (по условиям инфраструктуры). Таким образом, строить надо либо на длинной дороге, либо на короткой - между A и C . Условия задачи представлены на рис. 10.2.

Полезность в данном случае определяется близостью СМП и поэтому измеряется расстоянием, взятым со знаком минус. Например, если расположить СМП в точке C , то значение полезности равно $(u_1, u_2) = (-1, -2)$.

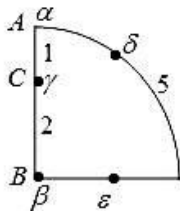


Рис. 10.2

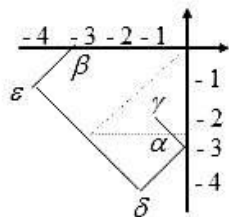


Рис. 10.3

На рис.10.3. изображено множество допустимых векторов полезностей. Отрезок $\beta\epsilon$ соответствует расположению СМП на длинной дороге на расстоянии не более 2 км от города B . Отрезок $\epsilon\delta$ соответствует размещению на длинной дороге на расстоянии не менее 1 км от обоих городов. Отрезок $\delta\alpha$ соответствует расположению СМП на длинной дороге на расстоянии не более 1 км от города A . И, наконец, отрезок $\alpha\gamma$ соответствует расположению СМП на короткой дороге между A и C . Оптимальными по Парето (эффективными) являются размещение СМП в городе A или B или в любой точке на короткой дороге между пунктами A и C . Равенство доставляемых полезностей достигается только в одной точке - на полпути из A в B по длинной дороге.

Получающийся вектор полезностей $(-2.5, -2.5)$ доминируется по Парето вектором $(-1, -2)$, соответствующим размещению СМП в пункте C . Таким образом, возникает дилемма: мы можем выбрать размещение либо оптимальным по Парето, либо выравнивающим полезности, но не можем

добиться одновременного выполнения обоих этих условий. В данном примере выход из затруднения просматривается - размещение в точке C является наиболее эгалитарным среди всех возможных эффективных размещений (т.е. величина $u_1 - u_2$ достигает наименьшего значения на множестве эффективных размещений именно в точке C).

С другой стороны, в точке C уровень полезности, доставляемый для наименее удачливого участника, т.е. уровень $\min(u_1, u_2)$, является наибольшим среди всех возможных векторов полезностей:

$$\min(-1, -2) = -2 \geq \min(u_1, u_2) \text{ для всех допустимых } (u_1, u_2).$$

Таким образом, в данном примере два подхода выделили один и тот же исход - C . Но так бывает далеко не всегда. Если, например, множество векторов достижимости содержит только два вектора: $u = (1, 2)$ и $\tilde{u} = (4, 1.5)$, то оба вектора являются эффективными, однако вектор u минимизирует $u_1 - u_2$, а вектор $\tilde{u}$ максимизирует $\min(u_1, u_2)$. Если считать обязательным соблюдение принципа *анонимности* (все участники равноправны и, значит, перестановка индексов ничего не меняет, т.е., если $\tilde{\tilde{u}} = (u_2, u_1)$, то и векторы $u = (u_1, u_2)$ и вектор $\tilde{\tilde{u}} = (u_2, u_1)$ равноценны), тогда более предпочтительным следует признать вектор $\tilde{u}$, поскольку вектор $\tilde{\tilde{u}}$ доминируется вектором $\tilde{u}$ по Парето.

В самом деле: $\tilde{u} = (4, 1.5)$, а $\tilde{\tilde{u}} = (2, 1)$. Таким образом, эгалитаризм, суть которого состоит в "выравнивании" полезностей, может реализовываться двояко: либо путем минимизации разности между максимальной и минимальной полезностями, либо путем максимизации минимальной доставляемой полезности. При двух участниках различие этих двух методов проявляется лишь в случае невыпуклых множеств достижимости. Однако в случае трех и более участников легко построить пример выпуклого мно-

жества достижимости, для которого максимизация $\min(u_1, u_2)$ достижимых векторов полезностей и минимизация $\max|u_1 - u_2|$ на множестве эффективных векторов приводят к существенно различным решениям.

Типичным подходом для эгалитаризма является максимизация коллективной функции полезности $W_e(u_1, \dots, u_n) = \min_{1 \leq i \leq n}(u_i)$ на множестве достижимых векторов полезностей. Если уровень полезности для наименее удачливого участника принимается за индекс коллективной полезности, то принцип анонимности не нарушается. Более того, если существует оптимальное по Парето решение, в котором полезности для всех участников одинаковы, (то есть не существует дилеммы равенство - эффективность), то это решение будет единственным оптимальным решением, выбираемым по критерию W_e .

Корректная формулировка принципа эгалитарности не сводится лишь к максимизации эгалитарной функции W_e . Функция W_e совпадает с уровнем полезности для наименее удачливого участника. Но если этот уровень достиг максимума, а имеются еще дополнительные возможности по вариантам выбора, то эти возможности следует использовать для максимизации полезности для следующего по "неудачливости" участника, затем следующего и т. д.

Пример: Размещение СМП на кольцевой дороге.

Для пяти городов A, B, C, D, E (Таких, например, как Химки, Долгопрудный, Мытищи, Балашиха, Люберцы), соединенных кольцевой дорогой, выбирают место размещения СМП. Полезность, естественно, измеряется расстоянием до

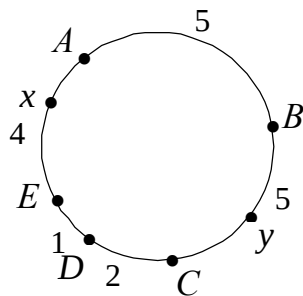


Рис. 10.4.

СМП со знаком минус. СМП можно расположить в любом месте на кольцевой дороге. Расстояния между городами соответственно равны: $A - B = 5$ км; $B - C = 5$ км;

$C - D = 2$ км; $D - E = 1$ км; $E - A = 4$ км.
(Рис.10.4.).

Максиминная задача имеет два решения, а именно x на расстоянии 1 км от города A на дороге AE и y на полпути между городами C и D . Действительно, соответствующие векторы полезностей имеют вид

$$u(x) = (-1, -6, -6, -4, -3), \text{ поэтому } W_e(x) = -6$$

$$u(y) = (-6, -6, -1, -1, -2), \text{ поэтому } W_e(y) = -6.$$

Легко проверить, что для любого другого расположения z выполняется неравенство

$$W_e(z) < -6.$$

Перейдем к сравнению месторасположений x и y с позиций эгалитаризма. В обоих случаях имеется два города с полезностью -6 ; следующий из наименее удачливых участников в случае x (а именно город D) получает -4 , а соответствующий участник в случае y (город E) получает -2 . Поэтому при сравнении x и y выбираем точку y . Заметим, что y не доминирует по Парето точку x , но после упорядочения полезностей по возрастанию получаем вектор

$$\tilde{y} = (-6, -6, -2, -1, -1),$$

который доминирует по Парето вектор $\tilde{x} = (-6, -6, -4, -3, -10)$.

Лексиминное упорядочение коллективного благосостояния задает полный порядок на множестве векторов полезностей из E^n (через E будем обозначать множество действительных чисел). Оно уточняет эгалитарную функцию коллективной полезности W_e , когда имеется несколько допустимых векторов с одинаковым значением этой функции.

В определении этого порядка будем использовать обозначения $u^{\sim}, v^{\sim}$ для векторов, полученных из векторов u, v из E^n упорядочением компонент u и v по возрастанию. Например, если $u = (5, 3, 2, 4, 3)$, то $u^{\sim} = (2, 3, 3, 4, 5)$.

Определение 10.1. Векторы u и v являются эквивалентными в смысле лексиминного порядка, если выполнено равенство $u^{\sim} = v^{\sim}$. Будем говорить, что вектор u предпочтительнее v , если существует такое целое число $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$, для которого выполнены условия

$$u_i^{\sim} = v_i^{\sim} \text{ для } i = 1, \dots, k, \quad u_{k+1}^{\sim} > v_{k+1}^{\sim}$$

В частности, если $W_e(u) > W_e(v)$ (т.е. $u_1^{\sim} > v_1^{\sim}$), то вектор u лексикографически предпочтительнее вектора v .

Лексиминный порядок работает следующим образом: сначала сравниваются полезности, доставляемые наименее удачливым участникам в обоих распределениях благосостояний, если же они совпадают, то сравниваются полезности для следующих по удачливости участников и т. д. Считается, что такой порядок обладает более привлекательными свойствами, чем эгалитарная функция коллективной полезности W_e .

Для любых двух векторов u и v из E^n обозначим

$$\begin{aligned} u \geq v, & \text{ если } u_i \geq v_i \text{ при } i = 1, \dots, n, \\ u > v, & \text{ если } u_i \geq v_i \text{ и } u = v, \\ u \gg v, & \text{ если } u_i > v_i \text{ при } i = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

Вектор u оптимален по Парето в S , если для всех векторов v выполнено

$$v > u \Rightarrow v \notin S,$$

и слабо оптимален по Парето в S , если для всех векторов v выполнено условие:

$$v \gg u \Rightarrow v \notin S.$$

Таким образом, в данном разделе мы весьма кратко рассмотрели основные подходы, базирующиеся на принципе эгалитаризма. В следующем разделе будем рассматривать варианты выбора решений по распределению благосостояния, базирующиеся на принципах классического утилитаризма.

10.1.2 Классический утилитаризм

Всякая кооперация (добровольное объединение участников) - образование довольно хрупкое. Если только единственным "цементирующим" фактором в ней является личная заинтересованность каждого участника и начисто отсутствуют какие бы-то ни было факторы принуждения (политические, религиозные, мафиозные и т.п.), то кооперацию постоянно подвергается "испытанию на растяжение" одновременно с двух сторон.

С одной стороны каждый участник "зорко следит", чтобы при дележах его не "обидели" и этому чувству в наибольшей степени удовлетворяет эгалитарный подход или, грубо говоря, примитивная уравниловка. Действительно, кто будет чувствовать себя эксплуатируемым, если прибыль делится между всеми участниками поровну? Ощущение каждого участника, что по отношению к нему все делится справедливо, является фактором внутренней устойчивости кооперации. Нарушение этой устойчивости, связанное с чрезмерным нарастанием неравенства внутри какого-либо общества (сообщества), являлось на протяжении всей истории человечества основной причиной всех социальных потрясений (бунтов, восстаний, революций) - в том числе февральской революции 1917 года в России.

Однако эгалитарный подход (установившийся, в значительной мере, в нашей стране после 1917 года), обеспечивая внутреннюю устойчивость, не обращает внимания на внеш-

ную устойчивость кооперации. Для уравнивания доли прибыли эгалитарист готов даже уменьшить долю каждого до такой степени, что от общей кооперативной прибыли почти ничего не остается. Так наша "прекрасная, солнечная" страна, где был достигнут наивысший уровень эгалитаризма, по уровню жизни находилась (и сейчас находится) где-то после шестидесятого места. По производительности труда отставала от передовых стран в десятки раз и т. д. И такая ситуация не привела к добру, а привела в начале к "перестройке", а теперь движемся потихонечку к здоровому утилитаризму.

Точнее - надо бы двигаться к "здоровому", потому что классический утилитаризм тоже вещь обоюдоострая. Классический утилитаризм максимизирует суммарный доход от кооперации (измеренный в некоторых единицах полезности), гарантируя тем самым внешнюю устойчивость кооперации, т.е. делая весьма привлекательным факт участия в ней, но полностью игнорирует при этом факторы внутренней устойчивости. Это игнорирование состоит в полном пренебрежении такими "мелкими" фактами как разорение и полное обнищание отдельных индивидов, если это обнищание является следствием выбранных вариантов обогащения общества в целом. Так, что "хрен редьки не слаще" и в чистом виде классический утилитаризм, доведенный до абсурда, также неприемлем, как и догматический эгалитаризм. В качестве примера рассмотрим задачу размещения объекта совместного пользования (например, той же станции СМП). Предположим, что город вытянут в линию на отрезке $[0,1]$. (Такой моделью неплохо описывается, например, Волгоград - при длине свыше 70 км его ширина составляет около 10 км). - Плотность населения описывается непрерывной функцией $f(x)$, $0 < x < 1$. Таким образом, общая численность населения города составляет соотношением

$$\int_0^1 f(x)dx$$

Естественно принять, что для каждого участника (жителя города) полезность точки размещения объекта измеряется расстоянием до этой точки, взятым со знаком минус.

Эгалитарист, используя в процессе принятия решения функцию коллективной полезности W_e , несомненно, выберет для размещения точку $x=0,5$ (предполагая, что плотность населения на обоих концах города положительна). Это гарантирует для каждого участника расстояние до объекта не более 0,5.

Утилитарист, в свою очередь, выберет для размещения точку a из решения следующей задачи:

$$\min_{0 \leq a \leq 1} \int_0^1 (x - a) f(x) dx.$$

Решение этой задачи есть медиана a^* функции $f(x)$: половина населения живет левее точки Парето, а половина - правее.

$$\int_0^a f(x) dx = \int_a^1 f(x) dx = \frac{1}{2} \int_0^1 f(x) dx.$$

Утилитарный выбор, минимизирующий суммарные транспортные затраты, является вполне убедительным, если объект - это, например, театр. Тогда, если, к примеру, 90 % населения проживает на участке 0,75 - 1, то участники, проживающие на участке 0 - 0,25, столкнутся с большими транспортными затратами. Однако это можно считать вполне справедливой платой за максимизацию общего благосостояния.

С другой стороны, если этот объект - станция СМП (отделение реанимации), то размещение ее в точке $a = 0,5$ становится более привлекательным, поскольку минимизирует наибольший риск для каждого индивида.

Классическую утилитарную функцию полезности будем обозначать W_α :

$$W_\alpha(u) = u_\alpha.$$

Утилитарная программа состоит в максимизации функции W_α на множестве допустимых векторов полезностей. Она согласуется с принципом единогласия: любой вектор полезностей, максимизирующий W_α на допустимом множестве, будет оптимальным по Парето. Утилитарный подход подразумевает механическое объединение участников в том смысле, что полезность, полученная любым из участников, засчитывается как полученная обществом в целом, не зависимо от того, какой полезностью этот участник обладал до получения новой полезности. Это означает, что новый миллион, полученный миллионером, для общества полезнее, чем пятьсот тысяч, полученных другими участниками, хотя бы их число (этих других) и было пятьсот тысяч или больше, просто потому, что миллион больше, чем пятьсот тысяч.

В силу этого если участники производят некоторую полезность, а распределяется ресурс, необходимый для воспроизводства этой полезности, то участник, трансформирующий этот ресурс в полезность более эффективно, и получает его (т.е. доставляемую полезность) в большем количестве, чем другие участники, а то и вообще единолично - в зависимости от постановки задачи. В этом смысле утилитаризм распределяет по заслугам (как это декларировалось при социализме), а эгалитаризм - по потребностям (идеал коммунистического общества). Следующий пример иллюстрирует это положение.

Пример: Дележ однородного пирога.

Единица бесконечно делимого (в том смысле, что нет дискретности и можно делить в любых пропорциях) однородного пирога делится между двумя братьями. Брат 1 вдвое голоднее брата 2, поэтому одинаковый кусок пирога доставляет ему вдвое большую полезность, чем брату 2: $u_1(x) = 2u_2(x)$. Предположим, что функции u_1, u_2 являются возрастающими, вогнутыми (значит, первая производная не возрастает) и дифференцируемыми.

Утилитарная программа находит решение из следующей задачи:

$$\max_{0 \leq x \leq 1} \{u_1(x) + u_2(1-x)\},$$

которая является задачей вогнутого программирования. Ее решение находится из условий первого порядка

$$u'_1(x^*) = u'_2(1-x^*).$$

Поскольку $u_1 = 2u_2$ и u'_1 не возрастают по x , имеем

$$u'_1(x^*) = 0.5u'_1(1-x^*) \Rightarrow u'_1(x^*) < u'_1(1-x^*) > 1/2.$$

Значит, классический утилитаризм отдает больший кусок более голодному брату, внося тем самым больший прирост в общественное благо.

В противоположность этому, эгалитарная программа компенсирует брату 2 пониженный аппетит, наделяя его большим куском пирога, чем брата 1. (Ведь он "бедняжка", съев одинаковый с братом 1 кусок, получит пользы вдвое меньше!) Так пусть сожрет побольше с тем, чтобы полученная им в итоге польза была не меньшей, чем достанется брату 1.

Поскольку в этом примере нет дилеммы равенство - эффективность, то эгалитарное решение находится так:

$$u_1(x) = u_2(1 - x) \Rightarrow u_1(x) = (1/2)u_1(1 - x) \Rightarrow u_1(x) < u_1(1 - x) \Rightarrow x < 1/2.$$

Эгалитарная программа иногда может приводить к крайностям. Так, в описанной выше задаче на размещение на отрезке, если хотя бы один житель поселяется в точке 3, то эгалитарное решение переносит из точки 1/2 в точку 3/2, хотя это решение увеличивает транспортные расходы (время прибытия в случае СМП) для всех остальных жителей. Но и утилитарная программа, как это показано в следующем примере, будучи примененной в неподходящей социально-экономической системе, может приводить к абсолютно неадекватным решениям.

Пример, в котором высокая производительность "наказывается".

Два участника преобразуют труд в сельхозпродукт (в картошку) по технологии с постоянными трудозатратами на единицу продукции не зависимо от масштаба. При этом производительность участника 2 вдвое выше, чем участника 1. В пересчете на одну неделю работы участника 2 производится 2 центнера картошки, а участника 1 - всего 1 центнер. Для проведения работ на картошке участники располагают по 10 недель свободного времени, ну а картошки у них нет. Функции полезностей обоих участников совпадают:

$$u(x, y) = y^{1/3}(10 - x)^{1/3},$$

где x - затраты труда в человеконеделях, y - полученная картошка в центнерах. Только не выращенная, а именно "полученная". Подразумевается, что участники работают не на собственных участках, а в какой-то системе, в которой все подлежит централизованному распределению: и время труда, и объем вознаграждения за труд. При утилитарном подходе решение находим из следующего уравнения

$$[MAX]\{y_1^{1/3}(10 - x_1)^{1/3} + y_2^{1/3}(10 - x_2)^{1/3}\},$$

где x_i, y_i неотрицательны и $y_1 + y_2 = x_1 + x_2$. Поскольку эта задача является задачей вогнутого программирования, то ее решение находится из системы уравнений, соответствующих условиям первого порядка.

$$\frac{1}{3} \frac{y_1^{1/3}}{(10 - x_1)^{2/3}} = \frac{1}{3} \frac{(10 - x_1)^{1/3}}{y_1^{2/3}} - \frac{1}{3} \frac{y_2^{1/3}}{2(10 - y_2)^{2/3}} = \frac{1}{3} \frac{(10 - x_2)^{1/3}}{y_2^{2/3}}$$

Отсюда получаем $y_1 = 10 - x_1$, $y_2 = 2(10 - x_2)$ и, подставляя эти значения вновь в систему уравнений, находим $(10 - x_1) = 4(10 - x_2)$; $y_1 = 2y_2$. Таким образом, более производительный участник 2 имеет в четыре раз меньше свободного времени и получает вдвое меньше картошки! А первый участник работает на "классической" (для соцреализма) базе государственных дотаций. Таков парадокс тоталитарной системы с всеобщим централизованным распределением - здесь ничто не идет впрок: ни эгалитаризм, ни утилитаризм.

В завершение этого раздела рассмотрим еще несколько примеров.

Пример: Размещение объекта на дереве.

(Вспомним, что дерево есть связный граф без циклов).

Пусть n городов расположены в вершинах дерева, ребра которого определяют расстояние между городами. Полезность объекта, общего для всех городов, измеряется расстоянием до этого объекта, взятым со знаком минус. Задача состоит в том, чтобы расположить объект общего пользования (реанимационный центр) где-то на дереве.

На рис. 10.5. дерево имеет шесть вершин, пять из которых соответствуют городам A, B, C, D, E (в вершине города нет). Числа на дугах соответствуют расстояниям в километрах. Для проверки усвоения изложенного выше материала читателю предлагается проделать пару упражнений

(а) Рассмотрите максиминную задачу.

(б) Рассмотрите классическую утилитарную задачу. Покажите, что для нашего примера ее решение состоит в размещении объекта в пункте C . Надо также показать, что в случае произвольного дерева эффективными решениями являются те, которые являются в то же время победителями по Кондорсе. А решение X является победителем по Кондорсе, если на каждой ветви, начинающейся в X , (включая саму точку X), содержится не более половины всех городов. В частности, в случае двух городов весь отрезок, их соединяющий, является множеством точек - победителей по Кондорсе. Для нечетного количества городов победитель по Кондорсе единственен. Но, конечно, если города размещены на дереве. А при размещении на кольце решение будет иным.

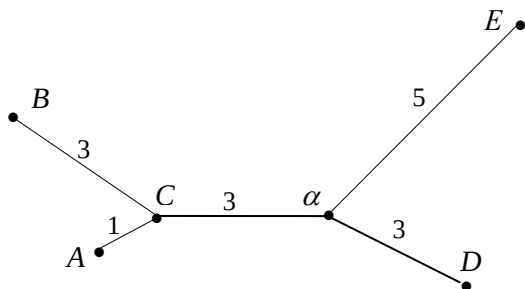


Рис. 10.5.

Пример: Размещение объекта на кольце.

Пять городов из предыдущего примера расположены на кольцевой дороге, как это показано на рис. 10.6. Читателю предлагается самостоятельно:

(а) Рассмотреть эгалитарную (с максиминной полезностью) программу. Показать, что в данном примере ее решение находится между пунктами C и D на расстоянии 0,5 км от C (5,5 км от D). Для произвольного кольца найдем наибольшие интервалы между парами городов и

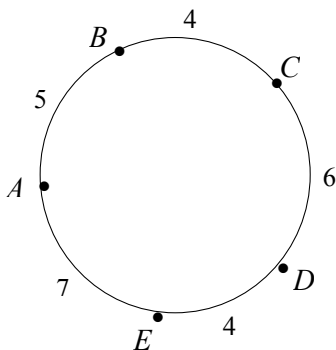


Рис. 10.6.

возьмем точки, диаметрально противоположные их серединам. Показать, что это и будут все эгалитарные размещения.

(б) Рассмотреть (классическую) утилитарную задачу. Показать, что в данном примере ее решение расположено в пункте C . Далее, рассмотреть произвольное кольцо с нечетным числом n городов. Показать, что утилитарным решением является размещение объекта в городе $\Pi^{\text{арето}}$, определенном следующим образом.

Обозначим через $P(x)$ множество размещений y , $y = x$, для которых кратчайший путь от x до y является единственным и положительным (в тригонометрической ориентации). Через $N(x)$ обозначим множество тех y , $y = x$, для которых кратчайший путь из x в y является единственным и отрицательным. Требуется показать, что x^* является таким размещением, что множества $P(x^*)$ и $N(x^*)$ содержат менее $n/2$ городов каждое. Таким образом, x^* может быть интерпретирован как победитель по Кондорсе. Рассмотреть также случай произвольного кольца с четным числом городов.

Пример: Дележ продуктов.

Этот пример иллюстрирует роль масштаба и нуля (начала отсчета) полезности в эгалитарном подходе. Два участника получили в качестве общего вознаграждения (подарка) 3 кг шоколадных конфет и 1 литр вина и должны поделить их между собой. Предпочтения обоих участников являются линейными (кривые безразличия суть прямые линии). Но предельные коэффициенты замещения различаются: для участника 1 килограмм равноценен одному литру вина, а для участника 2 один литр вина равноценен четырем кг конфет.

(а) Считаем конфеты единицей измерения. Ноль полезностей соответствуют случаю, когда участники не получают ничего. Это приводит к следующим величинам полезностей:

$$u_1 = c_1 + w_1, \quad u_2 = c_2 + 4w_2,$$

где c_i - доля конфет, а w_i - доля вина участника i . Далее, предлагается показать, что эффективное и эгалитарное и эгалитарное распределение продуктов таково:

$$c_1 = 3, \quad c_2 = 0, \quad w_1 = 0,26, \quad w_2 = 0,8.$$

(б) На рынке кило конфет стоит столько же, сколько и пол-литра вина. Взять рыночную стоимость в качестве единицы измерения и показать, в этом случае эффективное и эгалитарное распределение таково:

$$c_1 = 2,336, \quad c_2 = 0,67, \quad w_1 = 0, \quad w_2 = 1.$$

(с) Переместим нули полезностей в физически эгалитарное распределение продуктов (а именно в доминируемое по Парето распределение $c_i = 1,5, w_i = 0,5$). Это приведет к полезностям

$$u_1 \cong c_1 - 1,5 + w_1 - 0,5, \quad u_2 \cong c_2 - 1,5 + 4(w_2 - 0,5).$$

Покажите, что эгалитарное и эффективное распределение есть $c_1 = 2,75, w_1 = 0$, когда единица измерения конфеты, и c_1

$= 2,5$, $w_1 = 0$, когда единица измерения - рыночная стоимость.

Пример: Распределение затрат на общественный проект.

Затраты на общественный проект равны c , причем $c > 0$, а польза от его реализации для участника i , где $i = 1, 2, \dots, n$, оценивается величиной b_i , $b_i > 0$. Решение по реализации проекта является эффективным, если только $b_i > c$. Надо отыскать эгалитарное распределение затрат между участниками. Сначала считаем допустимыми любые распределения затрат $(x_1, \dots, x_n)$, такие, что $x_i = c$ независимо от знака x_i (т.е. часть участников вместо затрат получают субсидии). При этом полезность для участника i определяется как $u_i = b_i - x_i$. Тогда следующее распределение затрат уравнивает полезности, получаемые участниками.

$$x_i = b_i - \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n b_j - c \right] \quad (11.1)$$

(а) Предполагаем, что субсидии участникам невозможны, т.е. затраты не могут быть отрицательными. Рассмотрим задачу нахождения максиминной полезности

$$\left[\max_{x_1, \dots, x_n} \right] \left\{ \min_{i=1, \dots, n} (b_i - x_i) \right\} \quad (11.2)$$

где $(x_1, \dots, x_n)$ неотрицательны и $x_i = c$. Покажите, что (11.1) является оптимальным решением задачи, если

$$\min_{j=1, \dots, n} \{b_j\} \geq \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n b_j - c \right) \quad (11.3)$$

Если (10.3) не выполняется, то распределение затрат $(x_1, \dots, x_n)$ является решением задачи (10.2) тогда и только тогда, когда

$$0 < x < b_i - \min\{b_j\} \text{ для всех } i \text{ и } \sum_{i=1}^n x_i = c.$$

Например, возьмем пять участников, причем $b_1 = 5$, $b_2 = 10$, $b_3 = 20$, $b_4 = 22$, $b_5 = 27$ и $c = 30$. Задача нахождения максиминной полезности дает произвольное распределение затрат, удовлетворяющее условиям

$$x_1 = 0, \quad 0 \leq x_2 \leq 5, \quad 0 \leq x_3 \leq 15, \quad 0 \leq x_4 \leq 7, \quad 0 \leq x_5 \leq 22 \quad \text{и} \\ \sum_{i=1}^n x_i = 30.$$

Для определения единственного распределения затрат требуется лексиминный порядок (в качестве критерия!).

(б) Рассмотрим задачу с лексиминным порядком относительно векторов $(b_1 - x_1, \dots, b_n - x_n)$. Надо показать, что этот подход предполагает единственное распределение затрат, в котором как можно большее число участников, начиная с тех, кому проект наиболее невыгоден, не платит ничего, а тем, кто платит, соответствует один и тот же уровень чистой полезности. Этот уровень чистой полезности должен быть не меньше уровня полезности любого из "зайцев" (участников, которые не платят за реализацию проекта).

Упорядочим участников формально так, чтобы выполнялось условие $b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n$. Лексиминный оптимум определяется по формуле (11.4)

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{при } i = 1, \dots, k \\ b_i - \frac{1}{n-k} \left[\sum_{j=k+1}^n b_j - c \right], & \text{при } i = k+1, \dots, n \end{cases} \quad (11.4)$$

где k является единственным решением задачи

$$1 \leq k \leq n-1, \quad b_k \leq \frac{1}{n-k} \left\lfloor \sum_{j \geq k+1} b_j - c \right\rfloor \leq b_k + 1.$$

В числовом примере из пункта (а) находим

$$x_1 = x_2 = 0, \quad x_3 = 7, \quad x_4 = 9, \quad x_5 = 14.$$

10.3 Коллективный выбор

Выборы — важнейший компонент современной политики. Они представляют собой способ формирования органов власти и управления с помощью выражения по определенным правилам (в соответствии с избирательной системой) политической воли граждан. В результате выборов избранные кандидаты наделяются властными полномочиями. Выборы используются в различных демократических организациях: партиях, профсоюзах, добровольных ассоциациях, кооперативах, акционерных обществах и т.д. В данной главе речь идет главным образом о выборах в масштабах государства, всей политической системы.

Выборы всегда связаны с голосованием. Однако при всей близости этих понятий они имеют и существенные отличия. Выборы обычно понимаются как закрепленный в конституции и других законах относительно регулярный, периодичный процесс избрания состава органов государства. Голосование же не всегда связано с выборами. Оно используется и в различных формах прямой демократии: в референдумах, опросах, принятии коллективных решений на собраниях и т.п.

Демократию, как известно, придумали греки, и в переводе с греческого — это власть народа. Древняя Греция считается колыбелью демократии — именно там зародились первые демократические государства. Конечно, трудно сравни-

вать древние Афины с Соединенными Штатами, но суть системы голосования за народных избранников за многие века почти не изменилась. Демократия предполагает, что спорные случаи в обществе возможно разрешить с помощью голосования. То есть демократия - это власть голосующей части общества, причем в идеале считается, что это власть большинства. Значит, проблема заключается в создании некой универсальной системы голосования, которая позволила бы обществу свободно проявлять свои предпочтения и делать выбор, который удовлетворит большинство. Можно ли создать такую систему голосования, чтобы она была демократичной и рациональной одновременно? Специалисты в области общественных наук, философы и экономисты, исследовавшие этот вопрос, склоняются к отрицательному ответу. Способ голосования может быть избавлен от произвольности, безвыходных положений или неравноправия, но не может избежать этих недостатков одновременно.

Наиболее распространенной, в настоящее время, является мажоритарная система голосования. Согласно этой системе победителем является тот кандидат, который на выборах получит большинство голосов. Система весьма проста и наглядна, понятна, практически, каждому участнику голосования. Но, почему во всем мире периодически возникают волнения, связанные с проведением таких голосований. Ярким примером является Украина, страна, где уже много лет отсутствует политическая стабильность. Принципиальная основа этой нестабильности ясна – борьба за власть между различными политическими силами. Но формальной основой для продолжения смуты является как раз несовершенство мажоритарной системы.

При мажоритарной системе проблем не возникает в том случае, когда побеждает кандидат, набравший такое большинство голосов, при котором нет места сомнениям в его победе. Но как быть в том случае, когда победитель имеет перевес в 1,5 – 2% голосов? Во-первых, такая ситуация дает

конкурентам психологическую основу утверждать, что выборы были фальсифицированы. Во-вторых, даже если бы удалось с полной достоверностью доказать отсутствие факта фальсификации, то половина населения страны, поддерживавшая проигравшего конкурента, все равно недовольной.

Какие же еще механизмы голосования можно было бы использовать в подобной ситуации? Ведь буквально во всех развитых современных странах лидируют демократические тенденции. И сегодня весь мир стремиться добиться победы демократии для своих народов и стран. А проблема заключается в извечной противоречивости решения основной жизненной проблемы: проблемы выбора. Может ли большинство сделать правильный выбор? И что такое – правильный выбор? И исторические, и социологические, и математические науки не дают на эти вопросы однозначного ответа.

В 1785 году французский философ и математик М.-Ж.-А. де Кондорсе опубликовал работу, посвященную проблемам принятия коллективных решений в ходе выборов депутатов провинциальных ассамблей. В этой работе впервые были введены такие ключевые для теории принятия коллективных решений понятия, как принцип Кондорсе и парадокс Кондорсе. Согласно принципу Кондорсе, для определения истинной воли большинства необходимо (в отличие от стандартных методов избрания депутата относительным или абсолютным большинством голосов), чтобы каждый голосующий проранжировал всех кандидатов в порядке их предпочтения. Это в корне отличается от принятых сегодня в России методов избрания президента, депутата или губернатора относительным или абсолютным большинством голосов.

Рассмотрим для лучшего понимания принципа Кондорсе числовой пример из его работы. Будем использовать общепринятые обозначения. Выражение $A \succ B \succ C$ означает, что голосующий предпочитает кандидата A кандидату B , а кандидата B — кандидату C .

Пусть 60 голосующих дали следующие предпочтения:

23 человека: $A \succ C \succ B$

19 человек: $B \succ C \succ A$

16 человек: $C \succ B \succ A$

2 человека: $C \succ A \succ B$

При сравнении A и B имеем:

$23 + 2 = 25$ человек за то, что $A \succ B$;

$19 + 16 = 35$ человек за то, что $B \succ A$.

По терминологии Кондорсе мнение большинства состоит в том, что B лучше A .

Сравнивая A и C , будем иметь: 23 человека за то, что $A \succ C$; 37 человек за то, что $C \succ A$.

Отсюда, по Кондорсе, заключаем, что большинство предпочитает кандидата C кандидату A .

Наконец, сравним между собой C и B :

19 человек за то, что $B \succ C$;

41 человек за то, что $C \succ B$.

Таким образом, по Кондорсе воля большинства выражается в виде трёх суждений: $C \succ B$; $B \succ A$; $C \succ A$, которые можно объединить в одно отношение предпочтения $C \succ B \succ A$. И если необходимо выбрать одного из кандидатов, то, согласно принципу Кондорсе, следует предпочесть кандидата C . Сравним этот вывод с возможным исходом голосования по мажоритарной системе относительного или абсолютного большинства. Для вышеприведенного примера голосование по системе относительного большинства даст такие результаты: за A — 23 человека, за B — 19 человек, за C — 18 человек. Таким образом, в этом случае победит кандидат A .

При голосовании по системе абсолютного большинства кандидаты A и B выйдут во второй тур, где кандидат A получит 25 голосов, а кандидат B — 35 голосов и победит. Таким образом, правила игры будут определять победителя, и эти победители будут разными при различных правилах голосо-

вания. (Вот вам: "Не важно кто и как голосует – важно, как посчитать")

В другом примере, рассмотренном Кондорсе, по итогам голосования выделяются три утверждения: $B \succ C$, $C \succ A$, $A \succ B$. Но вместе взятые эти утверждения противоречивы. В этом и состоит парадокс (эффект) Кондорсе (или парадокс голосования). В этом случае оказывается невозможным принять какое-то согласованное решение и определить однозначно волю большинства. В другой форме парадокс Кондорсе возникает при постатейном принятии некоторого постановления или закона, когда каждая из статей закона принимается большинством голосов, а поставленный на голосование закон в целом отвергается (иногда даже стопроцентным) большинством голосующих.

Следующий решающий шаг в разработке теории голосования был сделан американским экономистом Кеннетом Джозефом Эрроу (1921 г.р.). Нобелевский лауреат 1972 года в области экономики, приобрел всемирную известность благодаря своей книге «Социальный выбор и индивидуальные ценности» («Social Choice and Individual Values»), опубликованной в 1952 году.

Опираясь на предшествующие работы других ученых, Эрроу попытался сформулировать условия, при которых из индивидуальных предпочтений рациональным или демократическим путем могут быть выведены групповые решения. Затем Эрроу попытался описать явно процедуру голосования, которая должна удовлетворять этим условиям, и получил неожиданный результат – условия оказались несовместными. Этот результат, часто называемый парадоксом Эрроу, или теоремой о невозможности, стал основополагающим для теории коллективного выбора и заключался в том, что единственные процедуры, которые отвечают всем изначально требуемым условиям, сосредоточивают всю власть в руках одного человека, что в результате может привести к диктатуре.

Так, под скромным названием «теорема невозможности» в наш мир вошло сенсационное открытие, положившее конец утопическим рассуждениям о демократии. Выделив основные непереносимые условия (аксиомы) демократических выборов как механизма выявления воли большинства избирателей, Эрроу доказал, что в принципе невозможно реализовать избирательную систему, в которой не нарушалось бы, по крайней мере, одно из этих условий!

В своих исследованиях Эрроу задался таким вопросом: возникают ли противоречивые коллективные предпочтения лишь из-за принципа принятия решения большинством или они присущи всем системам голосования? Сложность поисков ответов на эти вопросы заключалась в том, что ученому пришлось бы исследовать огромное количество процедур объединения, сильно различающихся теми ролями, которые в них приписывались отдельным голосующим, и критериями, которые использовались для упорядочения альтернатив.

Для решения этой сложной проблемы Эрроу разработал аксиоматический подход. Он сформулировал задачу как выбор правила, по которому каждой конфигурации упорядочений индивидуальных предпочтений приписывается коллективное упорядочение альтернатив. Кроме того, это правило должно определять, является ли альтернатива предпочитаемой, лишней или безразличной по отношению к каждой другой (две альтернативы считаются безразличными, если общество рассматривает их как одинаково привлекательные). Затем Эрроу, разработал свойства, необходимые для каждого этически приемлемого метода объединения предпочтений.

Суть модели, построенной Эрроу на высоком математическом уровне, заключалась в том, что эта модель общественного выбора не должна была мешать проявлению народной воли, или общественным предпочтениям, которые представляют собой объединения индивидуальных предпочтений. В принципе, правила, которые легли в основу этой модели совсем не сложные. Первое из них - тот самый прин-

цип большинства, о котором мы уже говорили выше. Второе: люди должны голосовать так, как им действительно хочется, а не так, как их вынуждают обстоятельства или «вышестоящие товарищи» или органы манипулирования индивидуальными предпочтениями. Третье: люди должны знать, между чем и чем (или кем и кем) они выбирают, например, четко прогнозировать все последствия своего выбора. И, наконец, самое важное условие - выборы не могут закончиться ничем: кого-то в итоге все же выбрать должны. Определив и обосновав эту систему желательных свойств, Эрроу доказал, что единственные правила, удовлетворяющие всем этим свойствам, обладают простым и удивительным недостатком: каждое из них является правилом диктатора. Диктатор - это личность, обладающая властью навязывать обществу свое строгое предпочтение для любой пары альтернатив.

Теорема Кеннета Эрроу утверждает, что логических тупиков, приводящих к авторитаризму, не возникнет только при одном условии: если снять как минимум одно из граничных условий демократии. Например, снять условие свободы выбора! То есть на голосующих будет оказываться постороннее воздействие, влияющее на их точку зрения. Это может быть влияние какой-то до чрезвычайности авторитетной личности, или это может быть угроза жизни всем членам общества, которая объединяет их как ничто другое, или сильная религия в стране с большим числом одинаково верующих. Но в любом случае при голосовании будет выявляться уже не воля голосующих, а навязанное извне так называемое общественное мнение, например.

Способ голосования может быть избавлен от произвольности, безвыходных положений или неравноправия, но не может избежать этих недостатков одновременно. Зато систематически проводимый анализ этой дилеммы привел к более глубокому пониманию существующих систем голосования и с течением времени может привести к открытию более совершенных систем. Уже в течение многих лет ученые

не перестают исследовать аксиомы Эрроу в попытке обойти его «теорему невозможности», стремясь ослабить сформулированные им требования. Эта проблема вызывает широкий интерес, поскольку она тесно связана с ключевыми вопросами экономики, философии, общественных наук.

Перед философами она встает при анализе практического значения утилитаризма - этической доктрины, утверждающей, что правильность действий зависит от их последствий для народного благоденствия, и требующей найти метод для объединения индивидуальных предпочтений. Ученые, занимающиеся общественными науками, встречаются эту проблему при определении или оценке правил голосования для комитетов или законодательных органов. Экономисты сталкиваются с ней при изучении нормирования и других нерыночных методов распределения ресурсов. Эта задача очень важна при нормативных экономиках, поскольку при определении допустимых границ вмешательства правительства в сферу деятельности свободного рынка решающим является понимание потенциального спектра альтернатив вплоть до полного невмешательства.

На основе математической модели Эрроу обосновалась пагубность непосредственного вмешательства государства в функционирование рыночного механизма в виде контроля над ценами и других мер, направленные на перераспределение дохода. Правительствам рекомендовалось использовать другие средства (например, налоги, трансферты), не сковывающие действия рыночных сил. Другие работы Эрроу внесли значительный вклад в теорию оптимальных запасов, анализ стабильности рыночных моделей, математическое программирование и теорию статистических решений.

А пока, несмотря на значительные усилия, еще не сформулированы характеристики возможных способов упорядочения, достаточно широкие, чтобы охватить реальные предпочтения избирателей, и в то же время достаточно узкие, чтобы избежать выводов о правиле диктатора. Основной

вывод, к которому в результате расчетов пришел Эрроу, остался не опровергнутым. А состоял он в том, что тупики, подобные парадоксу Кондорсе (самому наглядному примеру для понимания противоречий демократии), оказались принципиально неустранимыми при строгой попытке «жить демократически и только демократически». Одно из следствий доказанной теоремы Эрроу было то, что выявить волю большинства невозможно, потому что ее не существует.

Но если демократия невозможна, какую систему для управления выбрать? А ту, которая уже сама по себе отобразилась социальной эволюцией. Можно ее называть псевдodemократией и всячески критиковать. Но такой взгляд вряд ли поможет тем, кто составляет процедуры коллективного выбора. Ведь, все равно, каждое общество должно производить коллективные выборы и изобретать процедуры голосования, какими бы несовершенными они ни были.

И, пожалуй, единственно правильным решением проблемы в этом случае будет решение, к которому пришли еще древние греки. Раз невозможно при помощи демократической системы голосования избежать опасности диктатуры, значит, нужно ограничить возможности диктатуры! Именно поэтому в демократических странах, которые дорожат завоеваниями демократии, строго соблюдают ограничение сроков избранных «кандидатов» в диктаторы. А у греков выборы проводились каждый год. Так что никто не мог твердо укрепиться у власти, и народ мог на законных основаниях поменять неугодного ему правителя.

Литература

1. Э. Мулен. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели. – М.: Мир. -1991. – 464 с.
2. Кондорсе, Ж.-А. Эскиз исторической картины прогресса человеческого разума. — М.—Л.: Соцэкгиз, 1936.
3. Эрроу Кеннет – Общественный выбор и индивидуальные ценности (Social choice and individual values, 1951);

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Основные положения системного подхода.....	7
1.1 Исходные понятия и определения.....	7
1.2 Составной объект, его свойства. Система.....	18
1.3 Элементы классификации систем.....	26
1.4 Эволюция систем. Закон перехода количества	32
в качество.....	32
Литература.....	38
Глава 2. Методы системного анализа.....	38
2.1 Основные задачи системного анализа.....	39
2.2 Модельные отображения и модели	42
2.3 Математическое моделирование	50
2.4 Этапы системного анализа	52
2.5 Нормативная карта целей.....	58
2.6 Структурная классификация систем	66
2.7 Композиционные системы	72
2.8 Математические модели композиционных систем.....	75
2.9 Модели декомпозиции систем	77
2.10 Следящие системы	77
Литература.....	79
Глава 3. Системная инженерия.....	80
3.1 Определение системной инженерии	80
3.2 Структура морфологической модели	82
3.3 Матрица активности системной инженерии.....	83
3.4 Концептуальная модель создания и воспроизводства	87
рукотворного мира.....	87
3.5 Трехмерная морфологическая модель	90
системной инженерии.....	90
Глава 4 Модели анализа и проектирования организационных	93
систем.....	93
4.1 Структурные характеристики организационных систем.....	93
4.2 Обобщенный алгоритм проектирования организации	99
4.3 Концептуальные модели организационных систем.....	104

4.4 Иерархические структуры организационных систем	110
4.5 Формирование дерева целей организации	123
Литература:.....	131
Глава 5 Моделирование личности как активного элемента организационных систем.....	132
5.1 Состояние выбора	132
5.2 Системные параметры лица, принимающего решение	141
5.3 Оценка характеристических параметров ЛПР	144
5.4 Анализ и оценка информативности сообщений	153
Литература:.....	167
Глава 6 Модели и методы управления в организациях	168
6.1 Исходные определения. Основные режимы управления	168
6.2 Структурные модели управления в организационных системах	174
6.3 Матричная схема управления	178
6.4 Взаимосвязи целей и функций в организационной системе	182
6.5 Обобщенный критерий организованности системы	185
6.6 Понятие об идеальной организационной структуре	191
6.7 Кибернетические модели систем управления в организациях	194
Литература:.....	209
Глава 7 Модельное представление и анализ организационных систем методами теории автоматического управления.....	210
7.1 Введение	210
7.2 Анализ задач экстренной городской службы	213
7.3 Блок-схема контура оперативного управления доставкой бригад на место события.	216
7.4 Критерии показателей времени прибытия	219
7.5 Классификация ЭГС по составу блока ресурсов.....	220
7.6 Элементарная система	221
7.6.1. Выбор узла размещения поста	221
7.6.2 Блок-схема элементарной системы.	224
7.6.3 Расчет функции отклика блока пробега по обслуживаемой территории.	225
7.7 Однозонная система.....	229
7.7.1 Определение функции отклика	230
7.7.2 Расчёт показателей функции отклика в режиме общей очереди.....	233
7.7.2 Задачи контура «Оперативное управление».....	235

7.8 Многозонная система общего вида	237
7.8.1 Задачи контура «Организация и управление развитием»...	237
7.9 Определение показателей эффективности ЭГС	240
Литература:.....	244
 Глава 8. Модели и методы принятия решений	247
Введение	247
8.1 Исходные понятия.....	248
классической теории принятия решений	248
8.2 Расширенная модель анализа альтернатив	254
8.3 Модель принятия решения при детерминированных показателях ценностей.....	271
8.4 Таблица решений с попарным сравнением альтернатив	277
8.5. Модель принятия решений в условиях неопределенности критериев	280
8.6. Модель принятия решений с нелинейными функциями полезности	288
8.7. Построение плотностей распределения вероятностей и плотности распределения шансов на основе экспертных оценок.....	291
8.8 Модели распознавания альтернатив.....	302
8.9 Условные вероятности и правило Байеса	303
8.10. Процедура применения правила Байеса при использовании таблиц решений	308
8.11. Коэффициенты уверенности	315
Литература:.....	319
 Глава 9 Рыночный механизм мотивационного управления	319
9.1 Обмен. Право частной собственности. Товар.....	321
9.2 Модель рынка	329
9.3 Цена товара. Ценность товара. Деньги	333
9.4 Роль денег в рыночном обмене	335
9.5 Рыночный механизм мотивационного управления отдельным производителем.....	339
9.6 Рыночный механизм мотивационного управления ансамблем производителей	346
9.7 Взаимодействие мотивационного и командного управления национальной экономикой	349
 Глава 10. Справедливые дележи и эффективный выбор (модели принятия коллективных решений).....	356
10.1 Введение	356

10.2 Понятие о справедливых дележах	359
10.2.1 Эгалитаризм и утилитаризм.	359
10.1.2 Классический утилитаризм	368
10.3 Коллективный выбор	380
Литература:.....	388

Иван Михайлович Бескровный

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОРГАНИЗАЦИЯХ**

Учебное пособие

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*

Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Подписано в печать 13.04.2012 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 23,02. Тираж 100 экз. Заказ 554.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41

Для заметок

Для заметок
