

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

**М. П. Силич,
Е. Н. Рыбалка**

СИСТЕМОТЕХНИКА

Учебное пособие

Рекомендовано Сибирским региональным отделением
учебно-методического объединения по образованию
в области радиотехники, электроники, медицинской техники
и автоматизации в качестве учебного пособия
для студентов специальностей **210100 (220201)**
«Управление и информатика в технических системах»

Томск – 2006

Рецензенты:

Кафедра прикладной математики факультета прикладной математики и
кибернетики Томск гос. ун-та, доцент, к-т. тех. наук

Г. Н. Решетникова;

кафедра оптимизации систем управления Томск политех. ун-та,
доцент, к-тех. наук **О. Б. Фофанов**

Силич М.П., Рыбалка Е.Н.

Системотехника : учеб. пособие / Под общей редакцией д.т.н. М.П.
Силич. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2006. –
152 с.

В пособии логически последовательно изложены материалы по базовым моделям системного анализа, моделям и методам принятия решений, прикладным технологиям системного анализа. Используются оригинальные источники по методологии IDEF. Теоретический материал сопровождается большим количеством примеров. Описаны результаты применения прикладных технологий на примере реальных организационных систем. Огромное внимание уделено вопросам анализа и синтеза систем.

Пособие предназначено для студентов высших технических учебных заведений.

© Силич М. П., Рыбалка Е. Н., 2006

© Том. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2006

Содержание

Введение	5
1 Основные понятия и определения.....	10
1.1 Понятие системы и среды.....	10
1.2 Понятие проблемной ситуации.....	14
1.3 Понятие цели системы	18
1.4 Понятие функций системы	23
1.5 Понятие структуры системы	24
1.6 Внешние условия системы	30
1.7 Основные этапы системной деятельности.....	32
2 Базовые модели и методы системного анализа	34
2.1 Анализ и синтез систем.....	34
2.2 Понятие модели	35
2.3 Классификация моделей и методов системного анализа.....	38
2.4 Модель «черного ящика».....	43
2.5 Модель состава системы.....	45
2.6 Модель структуры системы.....	52
2.7 Метод декомпозиции сложных систем на основе стандартных моделей.....	56
3 Модели и методы принятия решений	70
3.1 Системная последовательность принятия решений	70
3.2 Методы генерации решений.....	76
3.2.1Общая характеристика методов генерации решений.....	76
3.2.2Мозговой штурм.....	77
3.2.3Метод разработки сценариев	78
3.2.4Морфологический анализ.....	79
3.3 Методы выбора.....	83
3.3.1Модели и методы исследования операций.....	83

3.3.2	Методы экспертных оценок	85
3.3.3	Многокритериальный выбор на основе экспертных оценок.....	87
3.3.4	Метод Дельфи.....	93
3.3.5	Функционально-стоимостной анализ.....	94
4	Прикладные модели системного анализа.....	96
4.1	Иерархическая содержательная модель.....	96
4.2	Дерево целей	99
4.3	Метод формирования задач управления.....	104
4.4	Методология IDEF0.....	108
4.5	Методология IDEF3.....	117
5	Прикладные технологии системного анализа.....	132
5.1	Технологии разработки информационных систем	132
5.2	Технология реинжиниринга бизнес-процессов.....	139
	Литература.....	151

Введение

Окружающие нас производственные, социальные, организационные, технические и природные объекты обладают множеством различных свойств: они достаточно сложны, распределены в пространстве, динамичны во времени, поведение их описывается как детерминированными, так и стохастическими законами и т.д.

В управлении такими системами задействовано большое количество людей, громадные природные, материальные и энергетические ресурсы. В этой связи подход к объектам управления как к сложным системам выражает одну из главных особенностей современного этапа развития общества.

Умение распознать систему, декомпозировать ее на элементарные составляющие, определить законы управления каждой подсистемой и вновь синтезировать систему требует разработки ряда специальных формальных моделей, процедур, алгоритмов. Еще философ Древнего Рима Квиантилиан утверждал, что любую сколь угодно сложную ситуацию можно полностью структурировать и описать, руководствуясь следующими семью вопросами [1, 2] (рис. 1).



Рис. 1. Основные факторы системы

Наука, в рамках которой получили развитие исследования, направленные на решение выше обозначенных проблем, получила название «тео-

рия систем» — «системный подход» — «системный анализ». Эта теория зародилась в 30-х годах XX века и в 50-е годы сформировалась как самостоятельное научное направление. У ее истоков стояли биологи Л. Берта-ланфи, Р. Жерар, специалист по математическим проблемам в области биологии и психологии А. Рапопорт, экономист К. Боулдинг. В дальнейшем исследования были продолжены в многочисленных работах зарубежных и отечественных ученых: М. Месаровича, С. Оптнера, С. Янга, Я. Такахару, Р. Акоффа, А.А. Богданова, В.Н. Садовского, А.И. Уимова, Ю.И. Черняка, А.А. Денисова и др. В данном учебном пособии использованы материалы, полученные томской школой системного анализа, основанной Ф.И. Перегудовым [3].

Системный анализ применяется для разрешения *трудно формализуемых* и *слабо структурированных* проблем как средство сведения сложной проблемы к взаимосвязанной иерархии более простых задач, доступных для решения формальными методами. Примерами таких сложных проблем являются:

- проектирование и модернизация крупных организационно-технологических объектов (предприятий, компаний, промышленных объединений);
- создание и внедрение программно-технических комплексов;
- разработка программ социально-экономического развития, программ энергосбережения и т.д.

Можно сказать, что системный анализ включает методы исследования, проектирования и развития сложных систем различной природы — технических, технологических, социальных, а также смешанных.

Методы и модели системного анализа в первую очередь используются на ранних этапах проектирования или развития сложных систем. К ранним этапам относятся этапы концептуализации, которые называют также «анализ проблем», «предпроектное обследование», «эскизное проек-

тирование», «этап научно-исследовательских работ» и т.д. К числу работ, выполняемых на ранних этапах, относятся:

- выявление проблем (узких мест) в существующих системах;
- выявление целей, направлений проектирования;
- определение перспективных вариантов структуры системы;
- формирование задач управления и т.д.

Эти работы являются слабоформализуемыми, "творческими" и одновременно очень важными, поскольку они формируют основу, "каркас" проектируемого объекта, основные направления проектирования системы, которые в дальнейшем прорабатываются, уточняются, детализируются. Решения, принимаемые на ранних этапах, в первую очередь определяют качество конечного результата. Применяя модели и методы системного анализа, можно повысить качество этих работ, избежать грубых ошибок при их проведении, а также сократить трудоемкость и сроки проведения работ.

Несмотря на общепризнанную целесообразность применения системного анализа при проектировании сложных систем, масштабы реального, а не просто декларируемого использования аппарата системного подхода не велики. Это объясняется не только нехваткой специалистов-системщиков и недостаточными масштабами обучения данной дисциплине. Дело в том, что методики, разрабатываемые в рамках системного анализа, как правило, не доведены до пошаговых формализованных процедур и зачастую представляют собой набор эвристических приемов и рекомендаций, требующих творческого осмысления и применения. Во многом они основаны на опыте и здравом смысле, врожденной способности декомпозировать сложные проблемы на составляющие элементы. Есть мнение, что для применения аппарата системного подхода требуется особое «системное» мышление, которое развито далеко не у всех. Системный анализ пока еще не стал *технологией*, доступной для широкого круга специалистов,

разрабатывающих сложные системы в различных областях человеческой деятельности.

Во многом такое положение объясняется самой природой проблем, решаемых с помощью системного анализа. Как пишут Перегудов Ф.И. и Тарасенко Ф.П., «если понимать формализацию узко (в идеале как математическую постановку задачи и вполне однозначную программу ее решения), то системный анализ в принципе не может быть полностью формализован, поскольку в нем большую и очень важную роль играют этапы, на которых системный аналитик и привлекаемые им эксперты должны выполнить творческую работу» [3]. Однако это не означает, что невозможно создать достаточно гибкую технологию или семейство технологий, хотя бы частично регламентирующих и стандартизирующих процедуру проведения системного анализа.

В соответствии с современным пониманием технология проектирования предполагает не только разработку регламентированной процедуры выполнения определенных операций, но и наличие автоматизированных средств поддержки, т.е. компьютерных информационных систем, сопровождающих процесс проектирования. Только благодаря инструментальным поддерживающим средствам методология может приобрести прагматическую силу и широкое распространение.

Теперь дадим определение системного анализа по [3]:

- с практической стороны системный анализ — это система методов исследования или проектирования сложных систем для ликвидации проблем;
- с методологической стороны системный анализ является прикладной диалектикой;
- с методической стороны системный анализ отличается междисциплинарным и наддисциплинарным характером и вовлечением в работу как неформальных, эвристических, экспертных методов,

так и эмпирических, экспериментальных методов, а также, при возможности и необходимости, — строгих формальных математических методов.

Одной из ранних форм системного анализа является **системный подход**. Системный подход определим как этап первоначального, качественного анализа проблемы и постановки задач.

Для исследования и управления организационно-технологическими системами широко применяются методы исследования операций. Дадим определение этого научного направления по [4]:

Исследование операций — это применение научного метода комплексными научными коллективами для решения задач, связанных с управлением организованными (человеко-машинными) системами с целью получения решений, которые наилучшим образом отвечают целям всей организации.

Исследование операций (ИО) является прикладным направлением кибернетики, используемым для решения практических задач организационного управления. Поэтому ИО называют еще организационной кибернетикой.

ИО находится на стыке наук, оперирующих как количественными, так и качественными фактами. И хотя ИО широко использует математический аппарат, содержательные и методологические аспекты в любом операционном исследовании играют не меньшую роль, чем формальные.

Построение моделей анализа и управления организационно-технологическими объектами ведется в следующей последовательности: проведение системного анализа → применение моделей исследования операций.

Основное внимание в данном курсе уделяется методам системного анализа организационно-технологических объектов и их практическому применению.

1 Основные понятия и определения

1.1 Понятие системы и среды

Понятие системы уточняется и совершенствуется вместе с развитием самого системного анализа. Так, основоположник теории систем Людвиг фон Берталанфи определил систему как комплекс взаимодействующих элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой.

Таким образом, исходным моментом в определении системы является ее сопоставление со средой, т.е. *среда* — это все то, что не входит в систему, а *система* — это конечное множество объектов, каким-то образом выделенное из среды. Между средой и системой существует множество взаимных связей, с помощью которых реализуется процесс *взаимодействия* среды и системы. Выделение системы из среды и определение границ их взаимодействия является одной из первоочередных задач системного анализа. От правильности определения границ зависят не только выполняемые функции, эффективность и качество системы, но и нередко сама ее жизнедеятельность. С другой стороны, диалектической основой системных исследований является принцип системности, суть которого сводится к тому, что система как нечто целое обладает свойствами, не присущими составляющим ее элементам (свойство целостности, эмерджентности). В этом случае при определении системы необходимо исходить из двух основополагающих понятий [2, 3]:

- система как совокупность взаимодействующих элементов;
- система как целостное образование, обладающее новыми системообразующими свойствами.

С учетом вышеизложенного перечислим следующие отличительные свойства системы:

- система есть нечто целое;

- система есть множество элементов, свойств и отношений;
- система есть организованное множество элементов;
- система есть динамическое множество элементов.

Тогда определение системы можно сформулировать следующим образом: система есть конечное множество элементов и отношений между ними, выделяемое из среды в соответствии с определенной целью, в рамках определенного временного интервала [2].

В данном случае под элементом принято понимать простейшую неделимую часть системы. При этом ответ на вопрос: что является такой частью? — не может быть однозначным и зависит от целей рассмотрения объекта как системы. Объективно с точки зрения элементов внешней среды любая система существует как источник удовлетворения ее потребностей. Из этого следует, что простейшая модель взаимодействия между системой и средой выглядит следующим образом (рис.1.1).

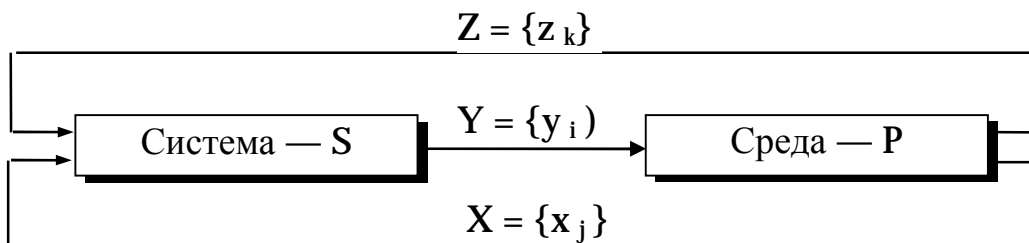


Рис.1.1. Модель взаимодействия системы и среды

Элементы внешней среды задают системе *множество целей и ограничений* — $Z = \{z_k\}$ и поставляют *множество ресурсов* — $X = \{x_j\}$.

Выходом из системы является *множество конечных продуктов и услуг* (КП) — $Y = \{y_i\}$, ориентированных на удовлетворение потребностей внешней среды. При этом множество конечных продуктов и ресурсов можно классифицировать на следующие группы: материальные, информационные, финансовые, трудовые, энергетические. В ряде случаев в классификаторе выходов системы помимо полезных конечных продуктов необходимо выделять отходы, т.е. конечные продукты, оказывающие негативное влияние на внешнюю среду.

Один из вариантов модели взаимодействия предприятия «как системы» с элементами ее внешней среды представлен на рисунке 1.2 [2].

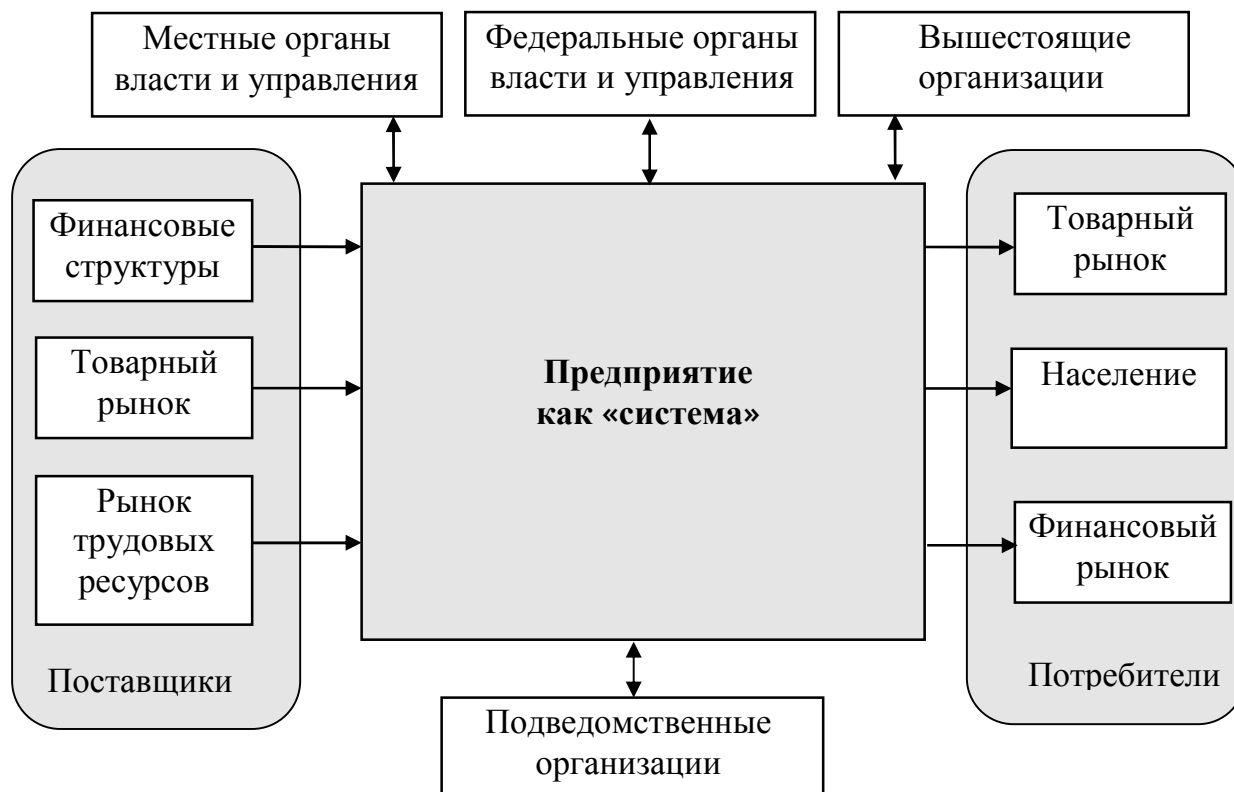


Рис. 1.2. Модель взаимодействия предприятия с элементами внешней среды

Рассмотрим фрагмент модели взаимодействия учебного заведения с элементами внешней среды [2].

В качестве *конечных продуктов* учебного заведения можно рассматривать следующие множества:

инженерные и научные кадры:

- y_1 — инженерные кадры, подготовленные по типовым учебным планам;
- y_2 — инженерные кадры, подготовленные по заказам органов власти и управления;
- y_3 — инженерные кадры, подготовленные по заказам финансовых институтов;

- y_4 — инженерные кадры, подготовленные по заказам конкретного предприятия и т.д.;
 - y_5 — кадры высшей квалификации;
- информационную продукцию вуза:
- y_6 — учебно-методическая литература;
 - y_7 — научно-техническая литература;
 - y_8 — отчетная информация о деятельности вуза;
 - y_9 — научно-технические разработки вуза.

В качестве входных *ресурсов* учебного заведения выделим:

- финансовые ресурсы:
- x_1 — средства федерального бюджета для организации учебного процесса;
- x_2 — средства местного бюджета для организации учебного процесса;
- x_3 — средства внебюджетных фондов для организации учебного процесса;
- x_4 — средства благотворительных фондов для организации учебного процесса;
- x_5 — кредиты банков для организации учебного процесса;
- x_6 — финансовые ресурсы для организации научно-исследовательской деятельности;
- x_7 — финансовые ресурсы для организации административно-хозяйственной деятельности;

абитуриентов, поступающих в вуз:

- x_8 — на основе госбюджетного финансирования;
- x_9 — по заказам органов власти и управления;
- x_{10} — по заказам финансовых институтов;
- x_{11} — по заказам конкретных промышленных предприятий;

- x_{12} — на личные сбережения родителей.

В качестве *ограничений*, определяющих деятельность вуза, можно рассматривать следующие:

ограничения по учебной деятельности:

- z_1 — требования государственного образовательного стандарта на подготовку специалистов по конкретной специальности;
- z_2 — требования органов власти и управления к качеству подготовки специалистов;
- z_3 — требования финансовых структур к качеству подготовки специалистов;

ограничения по научно-исследовательской деятельности:

- z_4 — требования федеральных органов к качеству выполнения госбюджетных тем;
- z_5 — требования заказчиков к качеству выполнения хоздоговорных тем.

1.2 Понятие проблемной ситуации

Как было показано в предыдущем подразделе, взаимодействие между системой и средой построено по следующей схеме: среда предоставляет системе ресурсы, устанавливает цели, ограничения, а получает из системы и потребляет ее конечные продукты (КП). Характерно, что КП системы принципиально не могут быть созданы в среде (в противном случае нет необходимости выделять систему из среды).

Возникшая либо назревающая степень неудовлетворения элементов внешней среды конечными продуктами системы либо низкая эффективность взаимодействия элементов внешней среды с системой порождают новое понятие системного подхода — «проблемная ситуация». В этом случае очевидно, что перечень проблемных ситуаций можно определить исходя из анализа взаимосвязи элементов множеств:

$$X = \{x_j\}, Y = \{y_i\}, Z = \{z_k\}.$$

При проведении данного этапа системных исследований рекомендуется, прежде всего, четко сформулировать сущность проблемы и описать ситуацию, в которой она имеет место [5]. При этом содержание деятельности включает следующие этапы [2, 5]:

- установление содержания проблемы, т.е. уяснение, существует ли в действительности проблема либо является надуманной;
- определение новизны проблемной ситуации;
- установление причин возникновения проблемной ситуации;
- определение степени взаимосвязи проблемных ситуаций;
- определение полноты и достоверности информации о проблемной ситуации;
- определение возможности разрешения проблемы.

Определение существования проблемы предполагает проверку истинности или ложности формулировки проблемы и ее принадлежности. Проверка истинности существования проблемы должна определяться, прежде всего, по наличию в системе совокупности экономических и социальных потерь, а ее значимость — по критерию экономического либо социального эффекта, получаемого в системе после ликвидации проблемной ситуации. Оценка же степени проблемности должна производиться путем сопоставления фактических (в данный момент либо в будущем) значений целей с их плановыми либо нормативными значениями.

Определение новизны проблемной ситуации необходимо для выявления и установления возможных прецедентов или аналогий. Наличие прошлого опыта или нормативных рекомендаций позволяют существенно облегчить работу экспертов по выработке и принятию решений по ликвидации проблемы.

Установление причин (как в системе, так и во внешней среде) возникновения проблемы позволяет глубже понять закономерности функционирования объекта управления, вскрыть наиболее существенные факторы, приведшие к проблемной ситуации.

При анализе проблемной ситуации необходимо установить возможные взаимосвязи рассматриваемой проблемы с другими проблемами. При этом необходимо провести классификацию этих проблем на главные и второстепенные, общие и частные, срочные и несрочные. Анализ взаимосвязей проблем создает возможности четкого и глубокого выявления причинно-следственных зависимостей и способствует выработке комплексного решения, что, в свою очередь, позволяет выдавать рекомендации по изменению не только исследуемой системы, но и внешней среды.

Большое значение в анализе имеет определение степени полноты и достоверности информации о проблемной ситуации. В случае полной информации нетрудно сформулировать сущность проблемы и комплекс характеризующих ее условий. Если же имеет место неопределенность информации, то необходимо рассмотреть две альтернативы: провести работу по получению недостающей информации; отказаться от получения дополнительной информации и принимать решение в условиях имеющейся неопределенности. Выбор той или иной альтернативы в каждом конкретном случае надо производить исходя из схемы “затраты — эффект”.

Важной составной частью анализа проблемной ситуации является определение степени разрешимости проблемы. В данном случае уже на предварительном этапе необходимо хотя бы приблизительно оценить возможность разрешения проблемы, поскольку не имеет смысла заниматься поиском решений для неразрешимых в данный момент времени проблем.

Сложность и многообразие систем и проблемных ситуаций требуют разработки формальных процедур организации такого рода деятельности.

В [2, 6] предлагается следующий перечень методов, позволяющих систематизировать анализ и оценку проблемных ситуаций:

- анкетное обследование;
- прогнозирование на базе временных рядов;
- производное прогнозирование (использование уже полученных прогнозов для оценки каких-либо ситуаций. Например, компания, производящая запчасти к автомобилям, может воспользоваться прогнозами об объемах продаж автомобилей);
- моделирование на базе факторного и регрессионного анализа (установление причинно-следственных связей между некоторыми факторами и переменной величиной, которую необходимо определить);
- метод мозгового штурма;
- метод Дельфи;
- метод разработки сценариев.

Более подробная информация по некоторым методам будет представлена в следующих разделах учебного пособия.

Продолжая рассматривать пример анализа взаимодействия учебного заведения с элементами внешней среды, выделим следующий перечень проблемных ситуаций [2]:

- на взаимосвязи y_4 — низкое качество подготовки специалистов, несоответствующее требованиям современного производства;
- на взаимосвязи x_1 — низкий уровень финансирования учебного процесса со стороны государства;
- на взаимосвязи x_3 — низкие объемы и темпы привлечения внебюджетных средств при организации целевой и коммерческой подготовки студентов;

- на взаимосвязи **x8** — низкий конкурс при поступлении в вуз по ряду специальностей и т.д.

1.3 Понятие цели системы

Понятие цели и связанные с ним понятия целенаправленности, целеустремленности, целесообразности трудно сформулировать ввиду их неоднозначного толкования. Так, в БСЭ цель определяется как «заранее мыслимый результат созидательной деятельности человека». Кроме того, в литературе имеется еще ряд альтернативных вариантов определения цели системы [2,3]:

- «желаемое состояние выходов системы»;
- «определенное извне или установленное самой системой состояние ее выходов»;
- «идеальный образ того, чего человек либо группа людей хочет достичь»;
- «предвосхищение в сознании результата, на достижение которого направлены действия»;
- «требуемые внешней средой результаты деятельности системы, заданные на множестве выходных конечных продуктов».

В данном случае при определении понятия цели будем исходить из следующих предпосылок. Поскольку проблемная ситуация идентифицируется с анализом взаимоотношений системы с элементами внешней среды, то цели системы должны выражаться через идеальный информационный образ этих взаимоотношений. Таким образом, главная трудность формирования целей связана с тем, что цели являются как бы антиподом проблем. Формулируя проблемы, мы говорим в явном виде, что нам не нравится. Говоря о целях, мы пытаемся сформулировать, что мы хотим. При формулировке цели не следует подменять ее средствами. Предположим, вы хотите «улучшить информационное обслуживание своей фирмы» — приобре-

тение необходимого количества ПЭВМ является лишь одним из возможных действий в этом направлении. В дальнейшем будем исходить из следующей классификации целей [2, 3] (рис. 1.3).

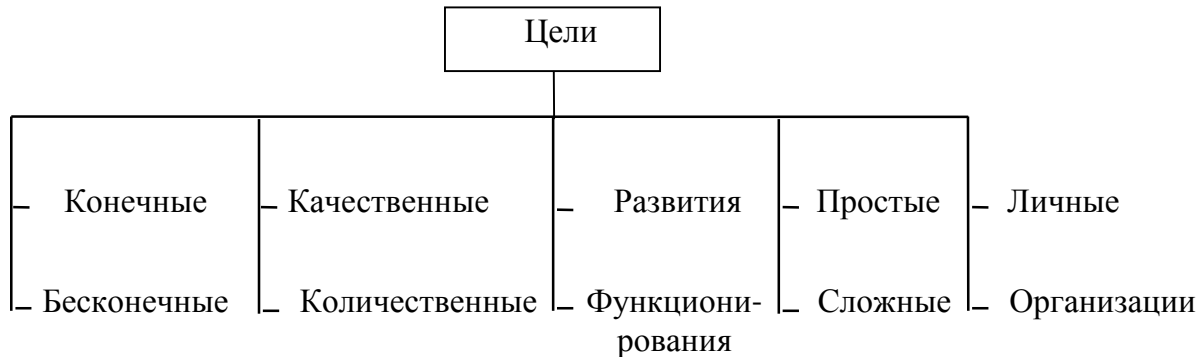


Рис. 1.3. Классификация целей

Конечные цели характеризуют вполне определенный результат, который может быть получен в заданном времени и пространстве. В этом случае цель можно задать в виде желаемых значений (или области желаемых значений) параметров состояния системы. Таким образом, конечная цель может быть представлена как некоторая точка (или область) в пространстве состояний.

Бесконечные цели определяют, как правило, общее направление деятельности. Бесконечная цель может задаваться как вектор в пространстве состояний системы, например, в виде функций максимизации или минимизации параметров состояния.

Выбор того или иного класса целей зависит от характера решаемой проблемы. Очевидно, что при определении целей необходимо исходить из общественных интересов системы. При этом формулировка целей может выражаться как в качественной, так и в количественной форме, должна быть четкой и компактной, носить повелительный характер.

По отношению к состоянию целей система может находиться в двух режимах: функционирования и развития. В первом случае считается, что система полностью удовлетворяет потребности внешней среды и про-

цесс перехода ее и ее отдельных элементов из состояния в состояние происходит при постоянстве заданных целей. Во втором случае считается, что система в некоторый момент времени перестает удовлетворять потребностям внешней среды, и требуется корректировка прежних целевых установок.

Учитывая, что практически все системы относятся к классу многопродуктовых (многоцелевых) систем, следует рассматривать простые (частные) цели системы и сложные (комплексные) цели. Так, например, для достижения успеха в бизнесе можно ограничиться заданием целей в основных областях деятельности (производство, финансы, коллектив, экология) [2]:

- максимизация объема выпуска продукции;
- минимизация затрат ресурсов;
- максимизация прибыли;
- максимизация эффективности инноваций;
- минимизация финансовых затрат;
- минимизация социальной напряженности;
- минимизация загрязнения окружающей среды.

Современная концепция *управления по целям* является одним из эффективных средств организации корпоративного управления. Она основана на том, что каждый член организации представляет себе цели организации и стремится к их достижению. При этом для такого управления характерны следующие особенности [2]:

- деятельность сотрудников должна оцениваться по ее результатам (достижениям), а не по количеству отработанного времени;
- сотрудники должны знать цели организации и стремиться к их достижению;

- сотрудники должны иметь право отстаивать свои собственные цели.

Установление личных целей придает человеку осмысленное поведение и высокую мотивацию. Римский философ Сенека однажды высказался: «Когда не знаешь, какая гавань тебе нужна, любой ветер будет попутным». Многочисленные социологические исследования в этом направлении показывают, что человек всегда стремится достичь разумного компромисса *между личными и профессиональными интересами*. Личные интересы, как правило, определяются человеком в виде определенного стандарта удовлетворения своих потребностей. Одним из возможных вариантов задания таких стандартов для определения личных целей является следующий, включающий семь направлений целеполагания:

- карьера;
- душевное состояние;
- вера (религия), идеалы;
- финансы;
- физическое состояние;
- друзья;
- семья.

Содержательная формулировка целей является необходимым, но не достаточным условием осуществления целеполагания. Для конкретизации целей необходимо задать критерии достижения целей и ограничения, при которых осуществляется поиск возможных вариантов решения [2,3].

Критерий — мера близости к цели. В этом смысле критерий — это модель цели. Критерий достижения целей отождествляется с показателем эффективности системы и может выражаться как в качественной, так и в количественной форме. От критериев требуется как можно большее сход-

ство с целями для того, чтобы оптимизация решения в системе выбранных критериев соответствовала максимальному приближению к цели.

Наряду с выбранными критериями большое влияние на выбор того или иного варианта решения оказывает система выделенных в задаче ограничений. **Ограничения** — это условия, отражающие влияние внешних и внутренних факторов, которые нужно учитывать в задаче принятия решений. Требования системности при рассмотрении вопроса требуют учета всех возможных ограничений: организационных, экономических, правовых, технических, психологических и т.д. При этом качественные ограничения формулируются, как правило, в терминах “не разрешается”, “не допускается”, а количественные — “не более”, “не менее”, “в интервале от-до”. Ограничения, как правило, дополняют (конкретизируют) сформулированные ранее цели и в ряде случаев могут сделать цели нереализуемыми. В этом случае необходимо через проведение ряда итерационных процедур снять часть ограничений.

При формировании целей и ограничений используется так называемое пространство целеполагания. Пространство целеполагания — совокупность систем, предъявляющих требования к исследуемой системе. Для организационных систем это пространство включает такие системы окружающей среды (см. рис. 1.2):

- вышестоящие организации, местные и федеральные органы управления;
- подведомственные организации;
- потребители и поставщики.
- В пространство целеполагания также включается сама система, предъявляющая собственные требования.

Нужно отметить, что установить правильную систему целей намного важнее, чем найти наилучший вариант решения. Не самый лучший вариант приведет все-таки к целевому результату. Выбор же неправильной

цели приводит не столько к решению самой проблемы, сколько к появлению новых проблем.

Примеры целей для ликвидации проблемных ситуаций по y_4 и x_3 [2]:

- повышение качества подготовки специалистов, проходящих обучение на контрактной основе;
- обеспечение среднего балла по диплому для специалистов, обучаемых на контрактной основе, не ниже 4,5;
- увеличение объема привлекаемых внебюджетных средств от контрактного обучения до N рублей;
- обеспечение 100%-го выполнения договорных обязательств с предприятиями, получающими молодых специалистов.

1.4 Понятие функций системы

Наличие проблемной ситуации и сформулированной цели системы как прообраза ее будущего состояния требует реализации определенных действий по достижению заданных целевых результатов.

В этом случае определим *функцию* системы как способ (совокупность действий) достижения системой поставленных целей [3, 7].

В действующих системах множество функций задается, как правило, в уставе организации, множестве должностных инструкций. В этом случае задачей системного анализа является выявление соответствия между целями организации и множеством ее нормативных функций.

Для определения множества функций вновь проектируемых систем либо определения множества вариантов решения каких-либо проблемных ситуаций с успехом могут быть использованы некоторые формальные приемы системного анализа: метод декомпозиции; использование стандартных моделей сложных систем; IDEF0-методология; метод формирова-

ния иерархических содержательных моделей и др. Перечисленные методы будут рассмотрены ниже.

Например, при реализации цели “Обеспечение качества подготовки специалистов, соответствующего требованиям конкретного предприятия”

- можно сформулировать следующие функции (виды деятельности) [2]:
- заключение договоров по целевой подготовке специалистов;
- перевод студентов на индивидуальное обучение;
- подготовка цикла специализированных занятий, соответствующих требованиям предприятия;
- развитие материальной базы учебного процесса и т.д.

В ряде случаев для генерации множества функций рекомендуется привлекать внешних экспертов, специалистов, не обремененных прошлым системы, не знающих ее внутренних ограничений и противоречий.

1.5 Понятие структуры системы

Рассмотренные выше этапы создания системы для конкретной проблемной ситуации (формирование целей и способов их достижения, т.е. функций) объективно требуют следующего логического шага — выявления таких элементов и отношений между ними (внутреннего устройства системы), которые реализуют целенаправленное функционирование системы.

Элементы любого содержания, необходимые для реализации функций, назовем частями или компонентами системы. Совокупность частей (компонентов) системы образует ее элементный (компонентный) состав. При этом те элементы системы, которые рассматриваются как неделимые, будут называться *элементарными*. Часть системы, состоящая более чем из одного элемента, образует *подсистему*. Вместе с тем каждую из под-

систем, реализующих конкретную функцию, можно, в свою очередь, рассматривать как новую систему и т.д.

Упорядоченное множество отношений между частями, существенное по отношению к цели, необходимое для реализации функции, образует *структуру* системы.

Понятие структуры происходит от латинского слова **structure**, означающего строение, расположение, порядок, а наиболее точное определение структуры выглядит следующим образом: «Под структурой понимается совокупность элементов системы и взаимосвязей между ними» [2]. При этом понятие «связи» может характеризовать одновременно и строение (статику), и функционирование (динамику) системы.

Отношения между элементами системы могут быть самыми разнообразными. Можно выделить следующие типы отношений:

- классификационные («род — вид»);
- отношения типа «часть- целое»;
- пространственные отношения;
- временные отношения;
- материальные (вещественные, энергетические, информационные) связи;
- определяющие отношения (определяющие свойства, в том числе через математические, логические соотношения между свойствами элементов);
- эмпирические отношения.

К последнему типу относятся весьма разнообразные отношения, присутствующие в реальных системах, например: «руководить», «владеть», «нравиться» и т.д.

При проведении анализа используются два определяющих понятия структуры: материальная структура и формальная структура [3].

В общем случае под *формальной структурой* понимается совокупность функциональных элементов и их отношений, необходимых и достаточных для достижения системой поставленных целей. Из определения следует, что формальная структура описывает нечто общее, присущее системам одного типа. В свою очередь, *материальная структура* является носителем конкретных типов и параметров элементов системы и их взаимосвязей.

Приведенные рассуждения позволяют сделать два вывода относительно сущности формальных структур: фиксированной цели соответствует, как правило, одна и только одна формальная структура; одной формальной структуре может соответствовать множество материальных структур.

При проведении системного анализа на этапе изучения формальных и материальных структур системы аналитики решают обычно следующие задачи:

- определение соответствия существующей структуры новым целям и функциям системы;
- определение необходимости реорганизации существующей структуры либо проектирования принципиально новой структуры;
- определение вида распределения (перераспределения) новых и старых функций системы по элементам структуры.

Пример. Рассмотрим формальную структуру часов. Вне зависимости от индивидуальных особенностей самых разнообразных часов (электронных, механических, песочных, солнечных и т.д.) в состав структуры часов входят два основных элемента: датчик времени и индикатор времени. Еще один элемент — эталон времени — может включаться в структуру часов или быть внешним элементом [3]. На рис. 1.4 приведена формальная структура часов.

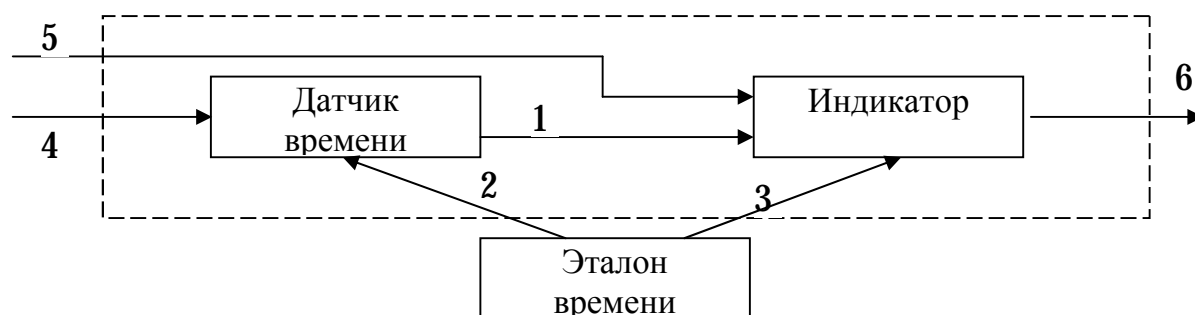


Рис. 1.4. Формальная структура часов

Основные функциональные элементы структуры:

Датчик времени — процесс, соответствующий ходу времени (электрический ток, равномерное раскручивание пружины, равномерная струйка песка, вращение Земли вокруг своей оси и т.д.).

Индикатор времени — устройство, преобразующее и отображающее состояние датчика в сигнал времени для пользователя.

Эталон времени служит для синхронизации часов, т.к. с течением времени показания часов будут отличаться от эталона (например, это сигналы точного времени по радио).

В структуру часов входят основные отношения между функциональными элементами:

1 — однозначное соответствие временного процесса и его отображения на индикаторе;

2 — соответствие временного процесса эталону;

3 — периодическое сравнение и устранение расхождения показаний и эталона;

4 — поступление энергии;

5 — регулировка индикатора;

6 — показания часов.

Рассмотрим типовые структуры, используемые при построении административных, производственно-технологических и вычислительных систем (рис. 1.5) [2].

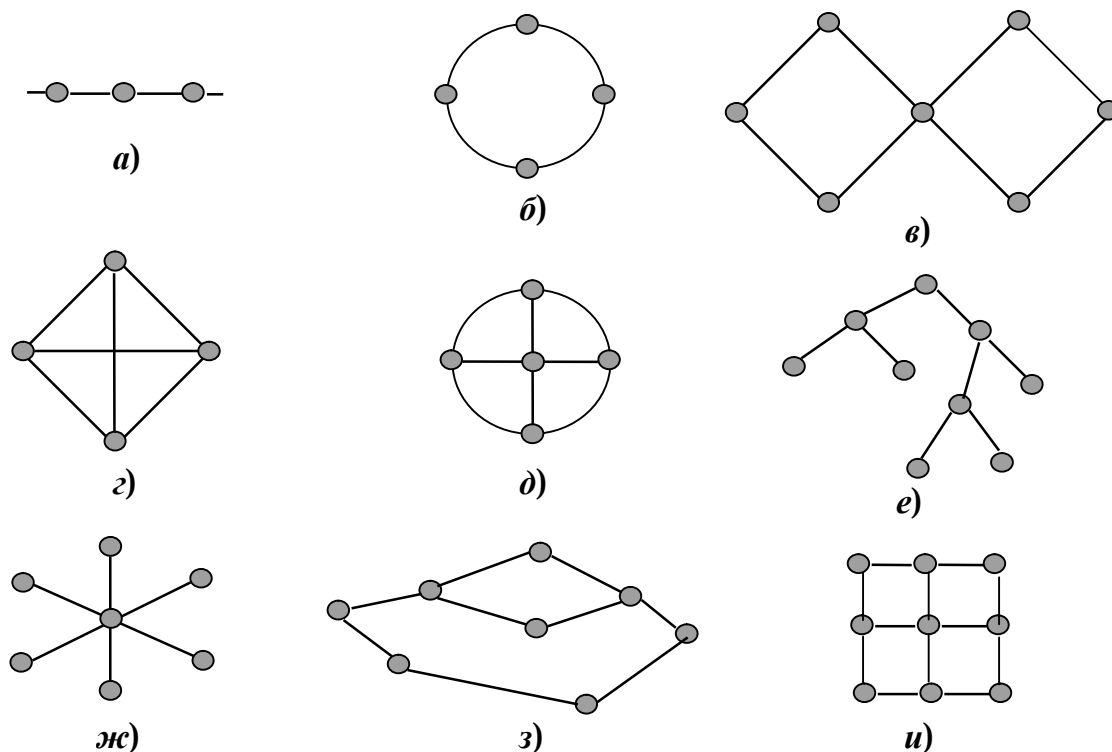


Рис. 1.5. Типы (виды) структур:

а) линейная; б) кольцевая; в) сотовая; г) многосвязная; д) колесо;
е) иерархическая; ж) звездная; з) графовая; и) матричная

Линейная структура (рис.1.5, а) характеризуется тем, что каждая вершина связана с двумя соседними. При выходе из строя хотя бы одного элемента (связи) структура разрушается.

Кольцевая структура (рис.1.5, б) отличается замкнутостью, любые два элемента обладают двумя направлениями связи. Это повышает скорость общения, делает структуру более живучей.

Сотовая структура (рис.1.5, в) характеризуется наличием резервных связей, что повышает надежность (живучесть) функционирования структуры, но приводит к повышению ее стоимости.

Многосвязная структура (рис.1.5, г) имеет структуру полного графа. Надежность функционирования максимальная, эффективность функционирования высокая за счет наличия кратчайших путей, стоимость — максимальная.

Частным случаем многосвязной структуры является структура “ко-лесо” (рис. 1.5, *д*).

Иерархическая структура (рис.1.5, *е*) получила наиболее широкое распространение при проектировании систем управления, чем выше уровень иерархии, тем меньшим числом связей обладают ее элементы. Все элементы, кроме верхнего и нижнего уровней, обладают как командными, так и подчиненными функциями управления. Каждый уровень такой системы характеризуется уровнем иерархии, который определяется как отношение числа исходящих связей к числу входящих.

Звездная структура (рис.1.5, *ж*) имеет центральный узел, который выполняет роль центра, все остальные элементы системы являются подчиненными.

Графовая структура (рис.1.5, *з*) является инвариантной по отношению к иерархической и используется обычно при описании производственно-технологических систем.

Матричная структура (рис.1.5, *и*) используется, в частности, для описания матричной схемы управления оргсистемой.

В целом структура является материальным носителем целевой деятельности по ликвидации проблемной ситуации и от ее эффективности во многом зависит конечный результат этой деятельности. При выборе варианта структуры целесообразно использовать некоторые обобщенные показатели эффективности. В литературе рассматриваются два класса таких показателей:

- показатели, описывающие статические параметры системы;
- показатели, описывающие ее динамические свойства.

К первой группе показателей относятся число уровней иерархии, характер взаимосвязей между элементами, степень централизации (децентрализации) управления. Вторая группа показателей описывает эффективность функционирования системы: оперативность, централизацию, пери-

ферийность, живучесть. Кратко остановимся на характеристиках вышеперечисленных показателей [2].

Оперативность оценивается временем реакции системы на воздействие внешней среды либо скоростью ее изменения и зависит, в основном, от общей схемы соединения элементов и их расположения.

Централизация определяет возможности выполнения одним из элементов системы руководящих функций. Численно централизация определяется средним числом связей центрального (руководящего) элемента со всеми остальными.

Периферийность характеризует пространственные свойства структур. Численно периферийность определяется показателем центра тяжести структуры, при этом в качестве единичной оценки меры связности выступает “относительный вес” элемента структуры.

Живучесть системы определяет ее способность сохранять значения показателей при повреждении части системы. Этот показатель может характеризоваться относительным числом элементов (или связей), при уничтожении которых остальные показатели не выходят за допустимые пределы.

Задача оптимизации структуры с целью получения наибольшей эффективности системы является актуальной и требует определенного математического аппарата для своего решения. В качестве такого аппарата используется теория графов и целочисленное программирование.

1.6 Внешние условия системы

Системное проектирование организации позволяет создать идеально-нормативную систему, которая может служить эталоном реальных систем, функционирующих в условиях ограничений, накладываемых внешней средой. При несоответствии существующей структуры системы нормативному набору функций, приводящему к достижению целей и невозможно-

сти ее реорганизации за счет внутренних ресурсов системы, должны рассматриваться варианты целенаправленного воздействия на систему элементов внешней среды.

При исследовании системы в окружающую среду включаются лишь следующие элементы [2, 7]:

- а) изменение свойств (параметров) которых влияет на систему;
- б) свойства (параметры) которых изменяются вследствие изменения состояния системы.

В большинстве случаев в качестве элементов внешней среды, активно воздействующих на систему, рассматриваются:

- *внешние ресурсы* (финансовые, материальные, трудовые);
- *ограничения* (законодательные акты, нормативно-правовые документы и т.д.), задаваемые, как правило, в виде некоторых информационных ресурсов;
- потребители конечного продукта.

Иногда, после определения множества необходимых ресурсов, становится очевидной нереальность заданных целевых результатов и требуется корректировка исходных целей либо изменение множества функций по реализации целей.

В случае, если внешних ресурсов достаточно, то можно говорить о ликвидации анализируемой проблемной ситуации. В противном случае речь должна пойти о переосмыслении проблемы и формулировании новой системы целей.

Пример. В качестве ресурсов внешней среды при реализации функции “подготовка специалистов, соответствующих требованиям конкретного предприятия”, можно рассматривать следующие [2]:

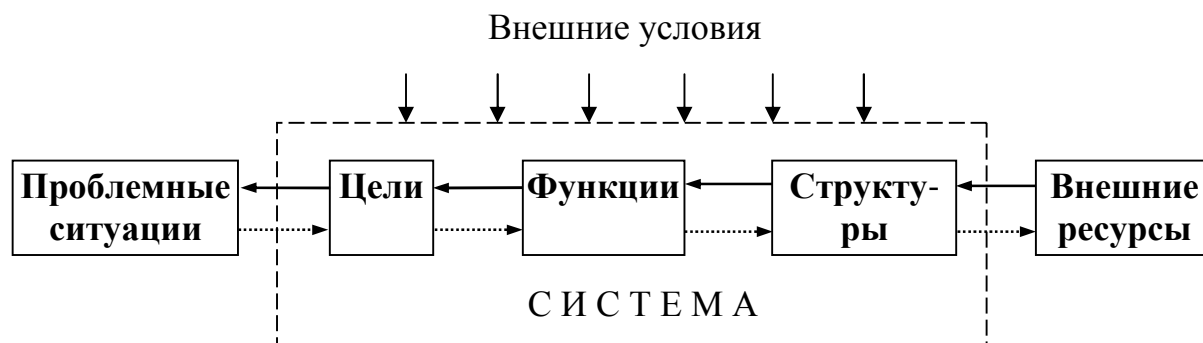
- финансовые ресурсы, поступающие от предприятия в виде денежной компенсации за дополнительную подготовку;

- материальные ресурсы, представленные в виде оригинального оборудования, приборов и устройств, которыми студент должен научиться пользоваться;
- постановления министерства общего и профессионального образования Российской Федерации, регламентирующие права и обязанности вуза, предприятия и студента.

1.7 Основные этапы системной деятельности

Использование приведенных понятий и определений системной деятельности позволяет выявить наличие либо отсутствие проблемной ситуации, выявить основные направления (цели) ее ликвидации, определить, какие функции системы при этом надо реализовать и какой структурой, выяснить имеются ли для этой реализации соответствующие ресурсы.

Легко заметить, что цепочка “проблемная ситуация — цели — функция — структура — внешние ресурсы” образует логически обоснованную (на содержательном уровне) последовательность системной деятельности (рис.1.6) [2,3].



На рисунке сплошной линией показана последовательность функционирования системы, а пунктирной — последовательность анализа или проектирования системы.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно дать еще одно определение системы [2]:

Система — целенаправленно функционирующая структура, способная к разрешению проблемной ситуации при определенных внешних условиях.

2 Базовые модели и методы системного анализа

2.1 Анализ и синтез систем

Для изучения систем и использования этих знаний для создания и управления системами необходимо *системное мышление*, заключающееся в сочетании аналитического и синтетического образов мышления [3]. Суть *анализа* состоит в разделении целого на части, в представлении сложного в виде совокупности более простых компонент. Но чтобы познать целое, сложное, необходим и обратный процесс — *синтез*. Необходимость сочетания этих видов познания вытекает из свойства эмерджентности систем: целостность системы нарушается при анализе, при расчленении системы утрачиваются не только существенные свойства самой системы, но и свойства ее частей, оказавшихся отделенными от нее. Результатом анализа является лишь вскрытие состава компонент, знание о том, как система работает, но не понимание того, почему и зачем она это делает. Синтетическое мышление объясняет поведение системы, почему система работает так. При этом система должна рассматриваться как часть большего целого.

Анализ и синтез дополняют друг друга. Так, при синтезе организационной структуры необходимо сначала провести анализ деятельности создаваемой организации, выделить отдельные процессы (функции), сопоставить им организационные единицы, а затем соединить их в отдельное целое, т.е. осуществить синтез. При выборе способа функционирования организации зачастую имеет место обратное: сначала используется синтетический подход — рассматривается деятельность организации, как целого; выбирается общая цель и способ функционирования, а затем осуществляется дезагрегация выбранного способа на отдельные функции [8].

Познание систем и использование этих знаний для создания систем и управления ими осуществляется через моделирование.

2.2 Понятие модели

Множество окружающих нас предметов и явлений обладают различными свойствами. Процесс познания этих свойств состоит в том, что мы создаем для себя некоторое представление об изучаемом объекте, помогающее лучше понять его внутреннее состояние, законы функционирования, основные характеристики. Такое представление, выраженное в той либо иной форме, называется моделью. Как отмечается в [3], под *моделью* следует понимать любую другую систему, обладающую той же формальной структурой, при условии, что между системными характеристиками модели и оригиналом существует соответствие, и она более проста и доступна для изучения и исследования основных свойств объекта-оригинала.

Любая модель есть объект-заменитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.

Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели можно назвать *моделированием*, т.е. моделирование — это представление объекта моделью для получения информации об объекте путем проведения эксперимента с его моделью.

С точки зрения философии моделирование следует рассматривать как эффективное средство познания природы. При этом процесс моделирования предполагает наличие объекта исследования, исследователя-экспериментатора и модели.

В автоматизированных системах обработки информации и управления в качестве объекта моделирования могут выступать производственно-технологические процессы получения конечных продуктов; процессы движения документов, информационных потоков при реализации учрежденческой деятельности организации; процессы функционирования комплекса технических средств; процессы организации и функционирования

информационного обеспечения АСУ; процессы функционирования программного обеспечения АСУ [2].

Преимущества моделирования состоят в том, что появляется возможность сравнительно простыми средствами изучать свойства системы, изменять ее параметры, вводить целевые и ресурсные характеристики внешней среды.

Как правило, моделирование используется на следующих этапах [2]:

- исследования системы до того, как она спроектирована, с целью определения ее основных характеристик и правил взаимодействия элементов между собой и с внешней средой;
- проектирования системы для анализа и синтеза различных видов структур и выбора наилучшего варианта реализации с учетом сформулированных критериев оптимальности и ограничений;
- эксплуатации системы для получения оптимальных режимов функционирования и прогнозируемых оценок ее развития.

При этом одну и ту же систему можно описать различными типами моделей. Например, транспортную сеть некоторого района можно промоделировать электрической схемой, гидравлической системой, математической моделью с использованием аппарата теории графов.

Для исследования систем широко используются следующие типы моделей: физические (геометрического подобия, электрические, механические и др.) и символические (содержательные и математические).

Под математической моделью понимается совокупность математических выражений, описывающих поведение (структуру) системы и те условия (возмущения, ограничения), в которых она работает. В свою очередь, математические модели в зависимости от используемого математического аппарата подразделяются, например:

- на статические и динамические;

- детерминированные и вероятностные;
- дискретные и непрерывные;
- аналитические и численные.

Статические модели описывают объект в какой-либо момент времени, а динамические отражают поведение объекта во времени. Детерминированные модели описывают процессы, в которых отсутствуют (не учитываются) случайные факторы, а вероятностные модели отражают случайные процессы — события. Дискретные модели характеризуют процессы, описываемые дискретными переменными, непрерывные — непрерывными. Аналитические модели описывают процесс в виде некоторых функциональных отношений или (и) логических условий. Численные модели отражают элементарные этапы вычислений и последовательность их проведения [2].

Если для описания системы используется естественный язык (язык общения между людьми), то такое описание называется содержательной моделью. Примерами содержательных моделей являются словесные постановки задач, программы и планы развития систем, деревья целей организации и др. Содержательные модели имеют самостоятельную ценность при решении задач исследования и управления системами, а также используются в качестве предварительного шага при разработке математических моделей. Поэтому качество математической модели зависит от качества соответствующей математической модели [9].

В качестве языковых средств описания содержательных моделей используются естественный язык (язык общения между людьми), диаграммы, таблицы, блок-схемы, графы.

Сложные системы потому и называются сложными, что они плохо поддаются формализации. Для них целесообразно использовать содержательные модели. Содержательные модели незаменимы на ранних этапах проектирования сложных систем, когда формируется концепция системы.

Методы системного анализа, используя декомпозиционный подход, позволяют выявить упорядоченное множество подсистем, элементов, свойств системы и их связей. Интегрированная содержательная модель системы позволяет представить общую картину, составить обобщенное описание, в котором подчеркнуты основные сущности, а детали скрыты. Главное в такой модели — краткость и понятность. Такая модель может служить основой для построения более детальных моделей, описывающих отдельные аспекты, подсистемы. Таким образом, содержательная модель может служить каркасом для построения других моделей, в том числе и математических. Она служит также для структуризации информации об объекте [10].

2.3 Классификация моделей и методов системного анализа

Все понятия, методы, модели и технологии можно объединить в несколько укрупненных блоков. На рис. 2.1. приведена схема, представленная в виде многоуровневой структуры. Блоки расположены так, что чем выше уровень, тем более прикладной, узко направленный характер носят его составляющие методы и модели. Связи между уровнями имеют смысл «использует», причем имеется ввиду использование не только знаний соседнего уровня, но и всех нижерасположенных уровней.

Базисный уровень составляют основополагающие понятия системного анализа: система, подсистема, элемент, окружающая среда, проблема, цель, функция, структура, внешние условия системы. К базовым понятиям относятся и основные свойства систем — свойства иерархичности, эмерджентности, динамичности, целенаправленности.

Следующий уровень составляют базовые модели системного анализа. Практически любая методика системного анализа в качестве основы использует одну из базовых моделей или их некоторую комбинацию. Высокий уровень абстрактности этих моделей позволяет использовать их для любых типов систем, причем для описания различных аспектов систем, та-

ких как цели, задачи, функции, структуры. Конкретные методики, используя базовые модели, наполняют их более конкретным содержанием, накладывая определенные ограничения на синтаксис и семантику моделей.



Рис. 2.1. Классификация моделей и методов системного анализа

К базовым моделям относятся также модель черного ящика, модель состава системы и модель структуры (см. рис. 2.2). Эти виды моделей широко используются для формирования моделей организаций. Например, модель черного ящика используется для описания взаимодействия организации с окружающей средой. Модель состава используется для отображения состава функций организации, целей, задач, персонала и т.д. Модель структуры используется для отображения структуры подчиненности в организации, коммуникационных взаимодействий и т.д.

Указанные виды моделей систем используются чаще всего в статическом варианте, однако они могут использоваться и в динамическом варианте. Например, динамическая модель черного ящика может быть использована для отображения динамики изменения некоторых основных параметров, характеризующих состояние организации. Динамический вариант модели структуры используется, например, при формировании сетевого графика выполнения программы развития организации.

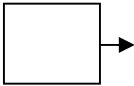
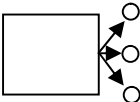
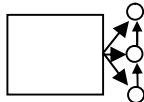
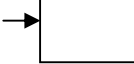
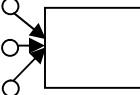
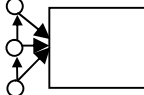
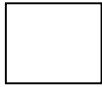

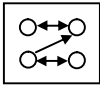

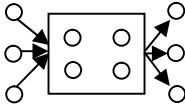
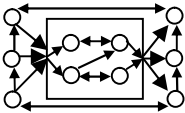
		Модели на уровне		
		входов-выходов	состава	структуры
Элементы системы и система в целом	Выходы			
	Входы			
	Процесс			
	Система			
		Описание на уровне черного ящика	Описание на уровне состава системы	Описание на уровне структуры

Рис. 2.2. Основные виды моделей систем

Для построения этих моделей применяется метод декомпозиции. В свою очередь, для проведения декомпозиции используются так называемые стандартные модели, описывающие инвариантные характеристики сложных систем.

В следующий уровень компонент системного анализа включены модели и методы принятия решений. В самом общем виде последовательность принятия решений включает этапы выявления проблемной ситуации, целевыявления, формирования критериев выбора решений, выработки (генерации) решений, согласования и выбора решений, реализации решений и оценки результатов. Данная последовательность применима для создания самых различных сложных систем.

К этому уровню будем относить и методы принятия решений. Как правило, эти методы не привязаны к объекту проектирования, в них делается акцент на способы организации группового или индивидуального поиска решений. К методам поиска решений относятся, в частности, методы активизации мышления (мозговой штурм, синектика), методы генерации вариантов (морфологический анализ, метод Дельфи), а также методы выбора (например метод экспертных оценок), модели выбора оптимальных альтернатив, модели исследования операций.

Перейдем к рассмотрению следующего уровня компонент системного анализа. Его составляют прикладные методологии системного анализа, центральным моментом которых является модель сложной системы. Примерами таких методологий могут служить модель дерева целей, модель задач управления, метод построения иерархических содержательных моделей сложных систем, метод структурно-функционального проектирования Казарновского и т.д.

Различные методологии, используя те или иные сочетания базовых моделей системного анализа применительно к тем или иным аспектам сложной системы, предлагают более конкретные способы формирования

моделей. Например, методика дерева целей, предназначенная для этапа целевыявления, использует как основу декомпозиционную модель состава применительно к целям сложной системы. При этом предлагаются конкретные способы формирования модели, в частности с использованием стандартных оснований декомпозиции, даются определенные рекомендации по проведению декомпозиции.

Верхний уровень компонент системного анализа составляют технологии проектирования, использующие системный анализ. К ним относятся технологии, ориентированные на конкретный вид систем, например: CASE-технологии проектирования программных информационных систем, технологии автоматизированного проектирования технических систем различного назначения, технологии реинжиниринга бизнес-процессов. Отличительной особенностью технологий является наличие регламентирующей процедуры проектирования, предусматривающей выполнение определенных этапов, для каждого из которых определены стандартизированные методики и стандартный набор документации. Как правило, на некоторых этапах предусматривается формирование различного рода моделей.

Практически любая технология явно или неявно использует системный подход. Так, в основе регламентирующих процедур проектирования, как правило, лежит системная последовательность принятия решений. Методики проектирования зачастую базируются на различных методологиях системного анализа и общих процедурах принятия решений.

Многие технологии подкреплены автоматизированными средствами поддержки. Например, для проектирования информационных систем широко используются CASE-средства, автоматизирующие создание программного обеспечения, для проектирования технических комплексов разработаны различные системы автоматизированного проектирования (САПР), для проектирования бизнес-систем все активнее начинают применяться инструментальные BPR-средства.

2.4 Модель «черного ящика»

Первым наиболее простым и абстрактным уровнем описания системы является модель *“черного ящика”*. В этом случае предполагается, что выделенная система связана со средой через совокупность *входов и выходов*. Выходы модели описывают результаты деятельности системы, а входы — ресурсы и ограничения. При этом предполагается, что мы ничего не знаем и не хотим знать о внутреннем содержании системы. Модель в этом случае отражает два важных и существенных ее свойства: *целостность и обособленность от среды* [2, 3].

Такая модель, несмотря на ее внешнюю простоту и отсутствие сведений о внутренней структуре, оказывается часто полезной и достаточной для практического использования.

Например, для анализа работоспособности телевизора необходимо проверить входы (шнур электропитания, антенну, ручки управления и настройки) и выходы (экран кинескопа и выходные динамики). Системное описание какого-либо производственного процесса необходимо начинать с анализа его информационных и материальных входов и выходов — планируемых и результирующих показателей деятельности, качества ресурсов и конечных продуктов и т.д.

Следует отметить, что существует множество систем, внутреннее устройство которых невозможно либо нецелесообразно описывать, и в этом случае модель *“черного ящика”* является единственным вариантом их исследования. Например, мы не знаем, как устроен организм человека, в то же время необходимо знать влияние, оказываемое на него лекарственными препаратами и т.д. Формализация модели *“черного ящика”* основывается на задании двух множеств входных и выходных переменных, и никакие другие отношения между множествами не фиксируются. Недопустимо полагать, что построение модели *“черного ящика”* является тривиальной задачей, т.к. ответ на вопрос о содержании множеств не всегда однозначен.

Построение модели основывается на выборе из бесконечного множества связей системы со средой их конечного множества, адекватно отражающего цели исследования. Очевидно, что такие модели не надо сводить к моносистеме (т.е. системе с одним входом и выходом), а для обоснования необходимого и достаточного количества параметров множеств входов и выходов широко использовать методы математической статистики, привлекать опытных экспертов [2, 3].

Модель «черного ящика» рассмотрим на примере хозяйствующей организации (предприятия). На рис. 2.3 приведена структура окружающей среды производственного предприятия, а также основные связи предприятия с окружающей средой [11].

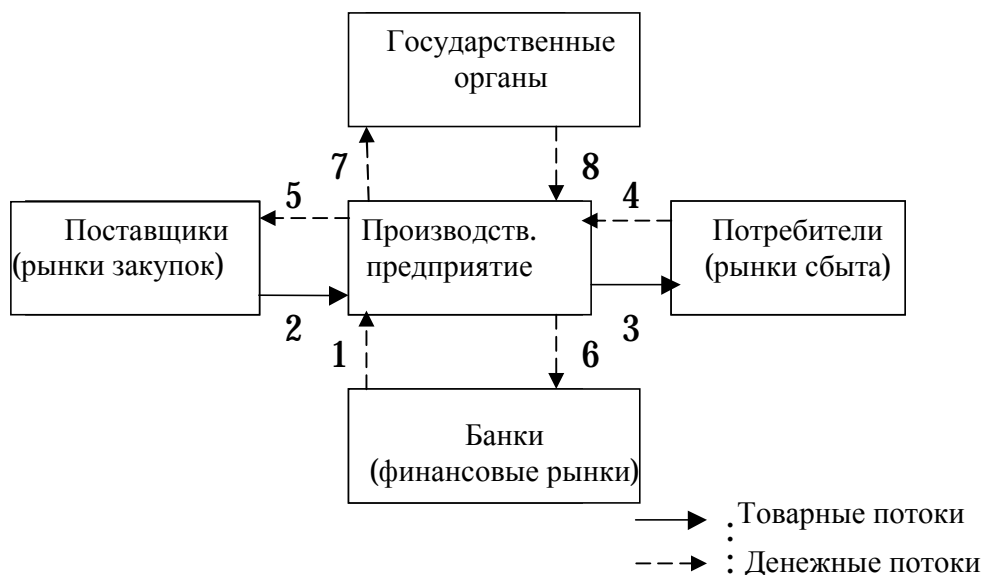


Рис. 2.3. Отношения предприятия с окружающей средой

Дадим некоторые пояснения. Для производственной деятельности необходимо привлечение капитала, будь то в форме акций или заемного капитала (1). Ликвидные средства позволяют предприятию задействовать производственные факторы (2), т.е. сырье, материалы, оборудование, которые в процессе производства преобразуются в готовые изделия.

Сбыт продукции (3) предприятиям или личным хозяйствам дает предприятию поступления (4), которые необходимы для погашения задол-

женности на рынке закупок, оплаты труда и т.д. (5). Проценты на заемный капитал и образующиеся излишки выплачиваются инвесторам (6), кроме того, государству выплачиваются налоги и сборы (7). С другой стороны, государство может предоставлять предприятию дотации (8).

2.5 Модель состава системы

При рассмотрении любой системы прежде всего обнаруживается, что ее целостность и обособленность выступают как внешние свойства. Вместе с тем внутренняя структура системы также является многообразной, неоднородной и состоит из множества функциональных элементов. Декомпозиция внутренней структуры “черного ящика” на более мелкие составляющие (подсистемы, отдельные элементы) позволяет строить модели состава систем [3] (табл. 2.1).

Например, если в качестве системы рассматривать производственное подразделение, то в качестве подсистемы выступают производственные участки, а в качестве отдельных элементов — оборудование, сырье, рабочие. Система телевидения состоит из следующих подсистем: аппаратура передачи, каналы связи, аппаратура приема.

Построение модели состава в силу многообразия природы и форм элементов — сложный процесс, что объясняется тремя факторами [2]:

- неоднозначностью понятия “элементарного элемента”;
- многоцелевым характером объекта, объективно требующим выделения под каждую цель соответствующего ей состава;
- условностью (субъективностью) процедуры деления целого на части (системы на подсистемы, элементы).

Таблица 2.1 — Примеры различных типов иерархий

Система	Подсистемы	Элементы
Семья, как материальная система	Члены семьи	Муж, жена, предки, потомки, др. родственники
	Имущество семьи	Общее жилье и хозяйство Личное имущество членов семьи
Система целей семьи	Материальное благополучие	Увеличение доходов Оптимизация расходов
	Духовные цели	Удовлетворение духовных потребностей каждого члена семьи Общесемейные традиции
Понятие «семья»	Многодетная семья	Муж, жена, более 3 детей
	Неполная семья	Муж или жена, дети
Система принятия семейных решений	Согласованное решение по вопросу 1	Мнения по вопросу отдельных членов семьи или коалиции
	Согласованное решение по вопросу 2	Мнения по вопросу отдельных членов семьи или коалиции

Последовательная декомпозиция системы на подсистемы приводит к формированию *иерархической древовидной структуры*. Многоуровневые иерархии различных систем, имея одинаковую древесную форму, могут существенно отличаться по содержанию. В таблице 2.1 приведены примеры декомпозиционных моделей для 4-х систем: «семья как материальная система», «система целей семьи», «семья как понятие», «система принятия семейных решений». Отношения между подсистемами дерева

для первой из перечисленных систем имеют смысл «целое–часть», для второй — «цель–средство», для третьей — «общее–частное», для четвертой — «координация-решение».

В [12] было введено 3 типа иерархических систем: «страты», «слои» и «эшелоны».

Страты. Этот вид иерархии позволяет описывать систему на разных уровнях абстрагирования, т.е. детальности описания. На каждой страте имеется свой собственный набор терминов, концепций и принципов. Например, в стратифицированном описании хозяйственной организации на верхнем уровне предприятие в целом характеризуется в основном обобщенными экономическими показателями. На среднем уровне подсистемы сбыта, материально-технического снабжения и т.д. характеризуются в основном стоимостными показателями. Подсистемы нижнего уровня описываются, как правило, натуральными показателями, такими, как объем и ассортимент складских запасов, загрузка оборудования, рабочее время персонала и т.д.

Понимание системы возрастает при последовательном переходе от одной страты к другой: чем ниже мы спускаемся по иерархии, тем более детальным становится раскрытие системы, чем выше мы поднимаемся, тем яснее становится смысл и значение всей системы [12].

Слои. Этот вид иерархии позволяет описать сложную проблему принятия решений в виде совокупности последовательно расположенных более простых подпроблем, решение которых позволяет решить и исходную проблему. «Решение любой проблемы из этой последовательности определяет и фиксирует какие-то параметры в следующей проблеме, так что последняя становится полностью определенной и можно приступить к ее решению» [12].

Примером многослойной системы может служить иерархия системы целей семьи, приведенная в табл. 2.1. Так подцели «Увеличение дохо-

дов» и «Оптимизация расходов» уточняют более расплывчатую цель «Материальное благополучие». Подцели нижнего уровня могут рассматриваться как элементарные, если очевиден способ их решения. В противном случае они уточняются. Так, цель «Увеличение доходов» может быть продекомпозирована на подцели «Добиться повышения в должности» и «Найти дополнительный заработок» и т.д.

Эшелоны. Этот вид иерархии, так, как он был первоначально определен в [12], относится не к моделям состава, а к моделям структуры. Это понятие иерархии относится к многоуровневым и многоцелевым системам принятия решений. В таких системах принимающие решение элементы располагаются иерархически в том смысле, что некоторые из них управляются другими решающими элементами. При этом элементы верхнего уровня хотя и обуславливают целенаправленную деятельность элементов нижних уровней, но не полностью управляют ею. Принимающим решения элементам предоставлена некоторая свобода в выборе их собственных решений. Наиболее характерный пример систем такого рода — формальные организации людей.

Очевидно, что в таком контексте эшелоны нельзя рассматривать как декомпозиционную модель, т.к. вышестоящий элемент не декомпозируется на нижестоящие, между ними устанавливаются отношения подчиненности. Однако можно модифицировать понятие эшелонов. Эшелонная иерархия может рассматриваться как модель состава в том случае, если подсистемами являются не принимающие решения элементы, а сами решения: на нижнем уровне располагаются частные решения, на вышестоящем — скоординированное, согласованное решение. Таким образом, решение верхнего уровня, с одной стороны, декомпозируется на частные решения, с другой стороны — оно полностью не определяется ими, а имеет еще координирующую составляющую. Например, согласованное мнение семьи по вопросу совместного проведения отпуска декомпозируется на отдельные ре-

шения по поводу места, времени, стоимости и т.д., высказываемые отдельными членами семьи или коалициями. Причем общее решение получается в результате согласования, координации частных решений.

Мы рассмотрели три типа моделей состава. Большинство иерархических моделей можно свести к одному из этих основных видов или их комбинации. Однако можно выделить, по крайней мере, еще один вид иерархии, несводимый ни к одному из вышеописанных. Этот вид назовем условно «классы». Рассмотрим его подробнее.

Классы. Данный вид относится к иерархии *понятий*, объединяемых в *классы* понятий. Если мы возьмем некоторый физический *объект*, например дом, то, рассматривая его как систему, мы можем выделить в нем составные части — стены, крышу, окна, двери. Рассматривая же *понятие* дом, мы можем выделить класс, в который входит данное понятие (например здание, сооружение) и более конкретные понятия, уточняющие данное (например: многоэтажный дом, особняк, частный дом).

Иерархия классов, таким образом, отражает классификацию понятий, а не структуру объектов, обозначаемых этими понятиями. Связи между классами в иерархии носят несколько иной характер. Класс понятий, лежащий ниже по иерархии, включает в себя декомпозируемый класс (все его характеристики), добавляя к нему некоторые дополнительные характеристики, т.е. уточняя его, конкретизируя. Поэтому декомпозицию классов на подклассы называют **наследованием** по аналогии с тем, как ребенок наследует черты родителя, добавляя к ним свои собственные.

Применительно к организационным системам иерархическая модель состава используется, например, при формировании организационной структуры, а также для выявления комплекса проблем, целей и задач управления. При этом сам объект декомпозиции (как и тип формируемой иерархии) может быть разным, что приводит к формированию разных моделей. Так, при декомпозиции «деятельности организации» формируется

модель состава производственных, социальных, управленческих и др. процессов, протекающих в организации. При декомпозиции «цели организации» формируется дерево целей. При декомпозиции «персонала организации» мы получим модель организационного состава. Таким образом, для некоторой организации могут быть построены различные модели состава, отличающиеся друг от друга, используемые для различных целей [8]. На рис. 2.4 приведен пример модели состава деятельности промышленной компании, относящейся к типу стратифицированных моделей [8].

На рис. 2.5 приведена модель организационного состава (персонала) промышленной компании, составленная на основе модели деятельности этой компании, приведенной на рис. 2.4 [8].

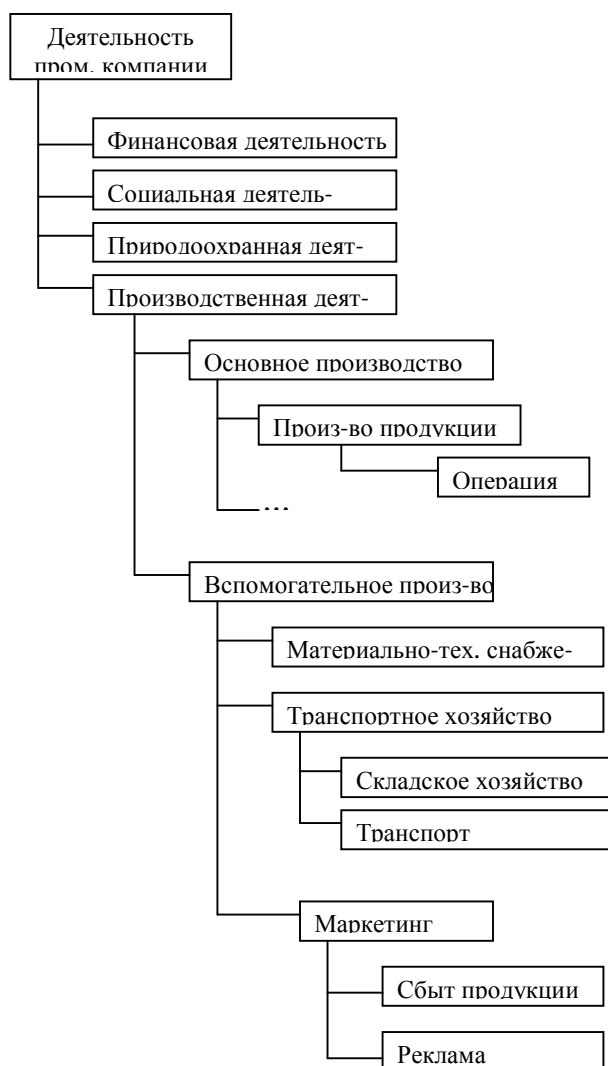


Рис. 2.4. Модель состава деятельности промышленной компании



Рис. 2.5. Модель организационного состава промышленной компании

2.6 Модель структуры системы

Простота и доступность моделей “черного ящика” и состава позволяет решать с их использованием множество практических задач. Вместе с тем для более детального (глубокого) изучения систем необходимо устанавливать в модели состава отношения (связи) между элементами. Описание системы через совокупность необходимых и достаточных для достижения целей отношений между элементами назовем *моделью структуры системы* [2,3].

Перечень связей между элементами, на первый взгляд, является несколько отвлеченной, абстрактной моделью. В самом деле, как рассматривать связи, если не рассмотрены сами элементы? В данном случае речь опять же должна идти о целевом (проблемном) анализе взаимосвязей между элементами, т.е. выделении из бесконечного числа связей необходимого и достаточного их количества в соответствии с имеющимися целями и дальнейшем их изучении. Например при анализе работоспособности ПЭВМ, убедившись в работе каждого элемента в отдельности, необходимо проанализировать наиболее существенные интерфейсы: между процессором и терминалом, между клавиатурой и процессором, между процессором и внешней памятью.

Приведенное ранее определение системы, понятия формальной и материальной структур позволяют говорить о структурной схеме (модели) системы, объединяющей модели “черного ящика”, состава, структуры. В этой модели описываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы) [2,3].

Так, например, в качестве структурной модели социально-экономической деятельности вообще можно рассматривать следующую схему (рис. 2.6).

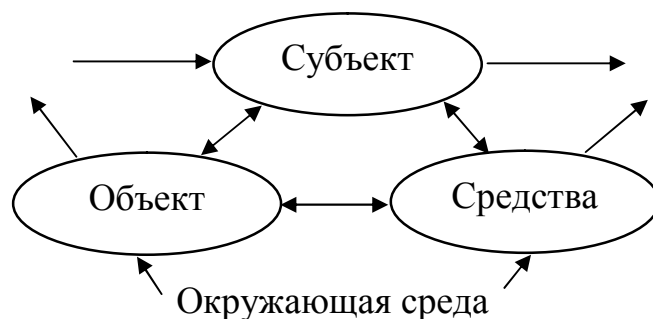


Рис. 2.6. Общая структурная модель деятельности

Применяя эту модель к анализу учебной деятельности, определим, что объектом деятельности является обучаемый, субъектом деятельности — преподаватель, средствами деятельности — вычислительная техника, учебно-методические материалы, процессом деятельности — используемые технологии обучения [2].

Все структурные схемы имеют нечто общее, что побудило рассматривать их как особый объект математических исследований. Наиболее общей математической моделью описания структурной схемы являются различные *графовые* модели. Графы могут изображать любые структуры. При этом некоторые типы структур, имеющие важные для практики особенности, выделены в специальные классы. Так, например, для производственного процесса в качестве его топологического описания обычно используется понятие производственно-технологической структуры, под которой будем понимать совокупность элементарных производств и видов деятельности, упорядоченную в соответствии с технологической последовательностью получения промежуточных и конечных продуктов деятельности системы [2].

В формализованном виде производственно-технологическая структура представляется в виде графа типа “сеть” (рис. 2.7), где вершины — “элементарные” хозяйственные подразделения, реализующие процессы преобразования ресурсов в конечные (промежуточные) продукты, а дуги

— промежуточные продукты либо другие ресурсы, производимые (представляемые) одними подразделениями и потребляемые другими [2].

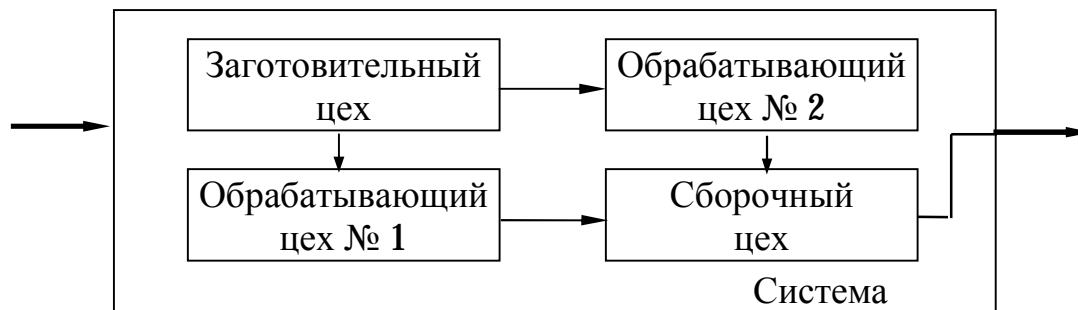


Рис. 2.7. Сетевая структура

Если же в качестве объекта исследования будем рассматривать территориально-распределенные вычислительные сети, то их описание производится, как правило, в виде линейных (общая шина), кольцевых, звездообразных либо полно-связных структур.

Рассмотрим структуры, описывающие организационные системы. Опыт проектирования организационных систем показывает, что для синтеза оргструктуры существенными являются отношения подчиненности, отношения полномочий и информационные отношения между организационными единицами. Таким образом, необходимо проектирование трех типов структур [8]:

- структуры подчиненности (распределения власти);
- структуры полномочий (распределения ответственности);
- структуры коммуникаций (распределения информации).

На рис. 2.8 приведен пример структуры подчиненности промышленной компании.



Рис. 2.8. Структура подчиненности промышленной компании

Как правило, структуры этого вида изображают в виде иерархии: руководитель располагается на более высоком уровне, чем тот, кем он непосредственно руководит. Последний при этом также может иметь в своем

непосредственном подчинении ряд сотрудников и т.д. Обратите внимание, что это другой тип иерархии, отличный от иерархии, полученной путем декомпозиции. Сравните два рисунка: рис. 2.5 и 2.8. На первом представлена модель состава персонала промышленной компании, на втором — структура подчиненности этого персонала. В модели состава отношения между подсистемами (элементами) — это отношения типа «часть — целое», в модели же подчиненности используются отношения подчиненности [8].

Структура полномочий обычно идентична структуре подчиненности, т.е. обе структуры изображаются с помощью одинаковых графов. Однако само содержание отношений в этих структурах различно.

Структуры коммуникаций гораздо разнообразнее и не ограничиваются структурами типа иерархии. Дело в том, что, кроме «вертикальных» потоков информации вниз и вверх по иерархии подчиненности, в любой организации всегда присутствуют и «горизонтальные», и «перекрестные» информационные связи. Более того, кроме формальной структуры упорядоченных потоков информации, в каждой организации существуют и потоки неформальных сообщений. Изучение неформальной структуры коммуникаций может помочь совершенствованию формальной структуры.

2.7 Метод декомпозиции сложных систем на основе стандартных моделей

Методы декомпозиции позволяют осуществить последовательное расчленение системы на подсистемы, которые, в свою очередь, могут быть разбиты на составляющие их части. Если полученные в результате декомпозиции подсистемы неэлементарны, т.е. не доступны на данном уровне описания для использования, то необходимо осуществить их дальнейшее разбиение. Разбиение системы на подсистемы в общем случае может быть выполнено неоднозначным образом и определяется составом использу-

мых признаков декомпозиции (оснований декомпозиции) и порядком их применения.

В качестве оснований декомпозиции сложных систем предлагается использовать так называемые стандартные модели, которые описывают некоторые инвариантные характеристики некоторого класса систем [3,9]. Рассмотрим стандартные модели, которые могут использоваться при построении содержательной модели системы, относящейся к классу организационно-технологических объектов. К этому классу относятся предприятия, организации, учреждения, автоматизированные системы управления и т.д.

В самом общем виде модель системы может быть представлена в виде совокупности «система — окружающая среда» и связей между ними (см. рис. 2.9).

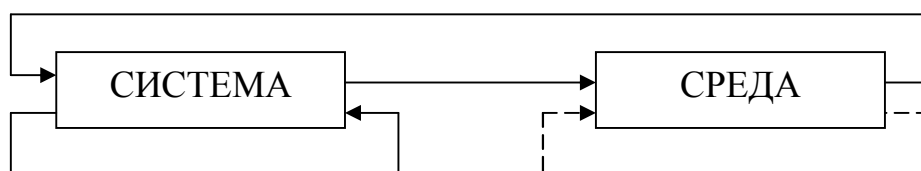


Рис. 2.9. Модель системы на уровне «входов-выходов»

Модель включает 4 агрегированные связи, характеризующие направленные вещественные, энергетические и информационные потоки. При моделировании реальных систем в большинстве случаев связь, отмеченная на рис. 2.9 пунктирной линией, является несущественной и поэтому далее не рассматривается.

Для многих задач исследования и управления целесообразно представление системы в виде совокупности «система управления — объект управления» (см. рис. 2.10).

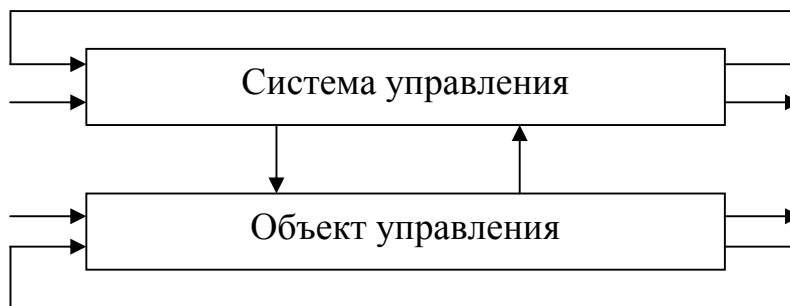


Рис. 2.10. Модель системы с выделением управляемой и управляющей частей

Рассмотрим стандартные модели для объекта управления и системы управления.

Стандартные модели для декомпозиции объекта управления (ОУ):

1. Выделение в ОУ подсистем социальной деятельности: "производство", "население" (коллектив), "природа" (см. рис. 2.11).

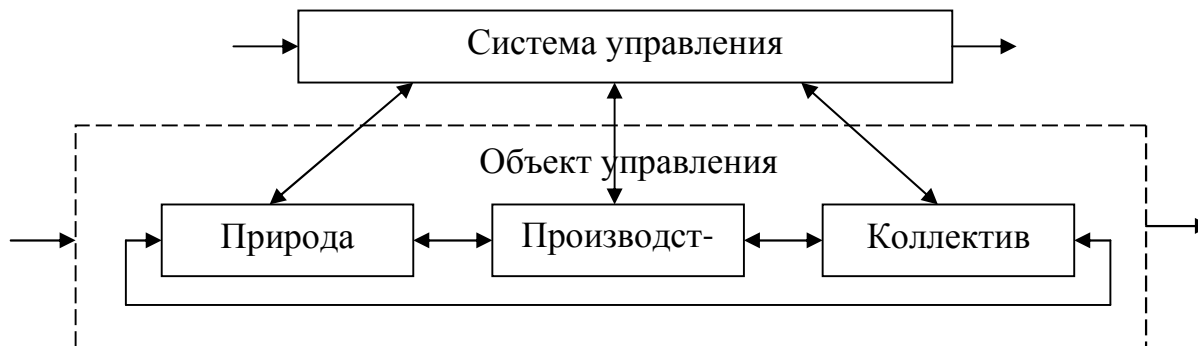


Рис. 2.11. Модель основных подсистем социальной деятельности

Подсистема "Производство" осуществляет процесс создания конечного продукта. Подсистема "Коллектив" включает исполнителей (трудовые ресурсы), рассматриваемых с социальных позиций. Подсистема "Природа" включает в себя природоохранные (экологические) процессы. В процессе функционирования и развития эти подсистемы обмениваются вещественными, энергетическими и информационными потоками как между собой, так и с подсистемами окружающей среды.

2. Выделение основного производства (процесса) и вспомогательного производства.

Декомпозиция на указанные части может быть целесообразна либо для ОУ, рассматриваемого в целом, либо для подсистем производства.

Подсистему производства образуют технологический процесс и вспомогательное производство, обеспечивающее основной процесс оборудованием, транспортом и т.д., а также проводящее ремонтное, строительное и другое производственное обслуживание технологического процесса.

3. Выделение подсистем, соответствующих «жизненному циклу» конечного продукта (см. рис. 2.12) [2].



Рис. 2.12. Модель жизненного цикла конечного продукта

4. Декомпозиция ОУ (подсистемы ОУ) по составу подсистем — производителей отдельных конечных продуктов. Здесь предполагается, что каждому продукту соответствует определенная подсистема — производитель этого продукта.

5. Выделение стадий производства конечного продукта, соответствующих технологически законченным процессам. В работе [9] выделены типовые элементы, из которых конструируются реальные технологические сети (см. рис. 2.13):

- а) последовательная структура;
- б) расходящаяся структура;
- в) сходящаяся-расходящаяся структура;
- г) структура с реверсом (рециклом).

Стадии производства и их соединение образуют технологическую сеть.

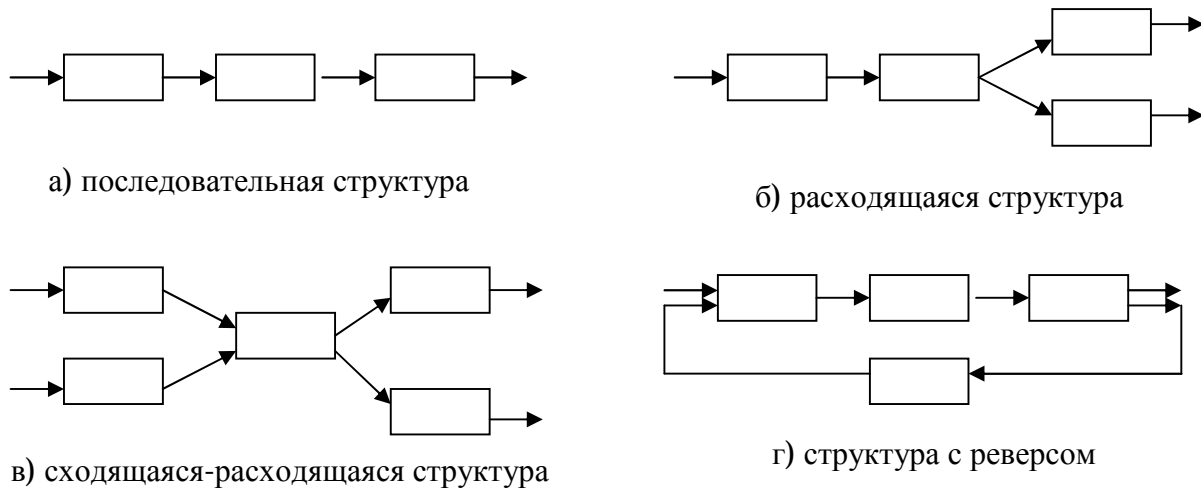


Рис. 2.13. Типовые технологические сети

6. Выделение структурных элементов подсистем и их взаимосвязей (рис. 2.14).

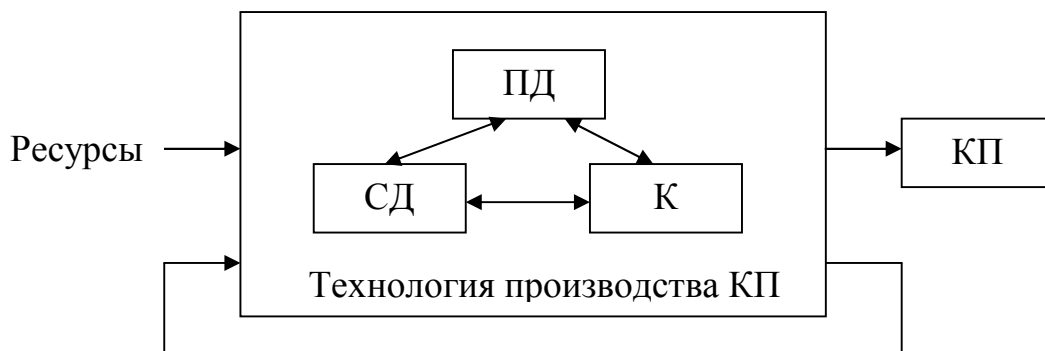


Рис. 2.14. Модель структуры системы (подсистемы)

В объекте управления в целом и в отдельной подсистеме протекает процесс производства некоторых конечных продуктов (КП) из предметов деятельности (ПД). Производство КП осуществляется работниками — исполнителями или кадрами (К) и средствами деятельности (СД) — инструментами, оборудованием. Множество таких элементов для конкретной системы предполагается конечным. Взаимодействие структурных элементов образует технологию производства. Предметы деятельности, средства деятельности и кадры в виде ресурсов поступают из окружающей среды или от других подсистем системы. Здесь предполагается, что в процессе функционирования и развития используемые в системе средства деятель-

ности и исполнителей требуется периодически заменять и усовершенствовать.

На рис. 2.15 — 2.18 приведены модели структур для различных подсистем социальной деятельности: «производство», «коллектив», «природа», «управление».

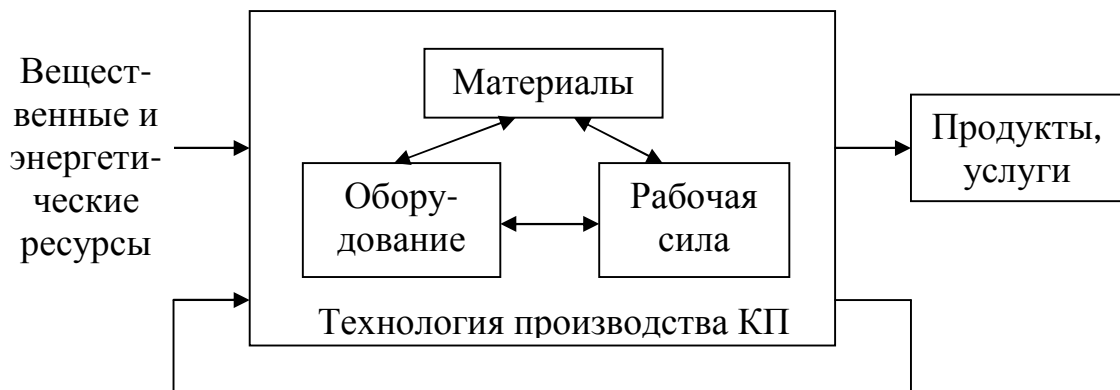


Рис. 2.15. Модель структуры подсистемы «производство»

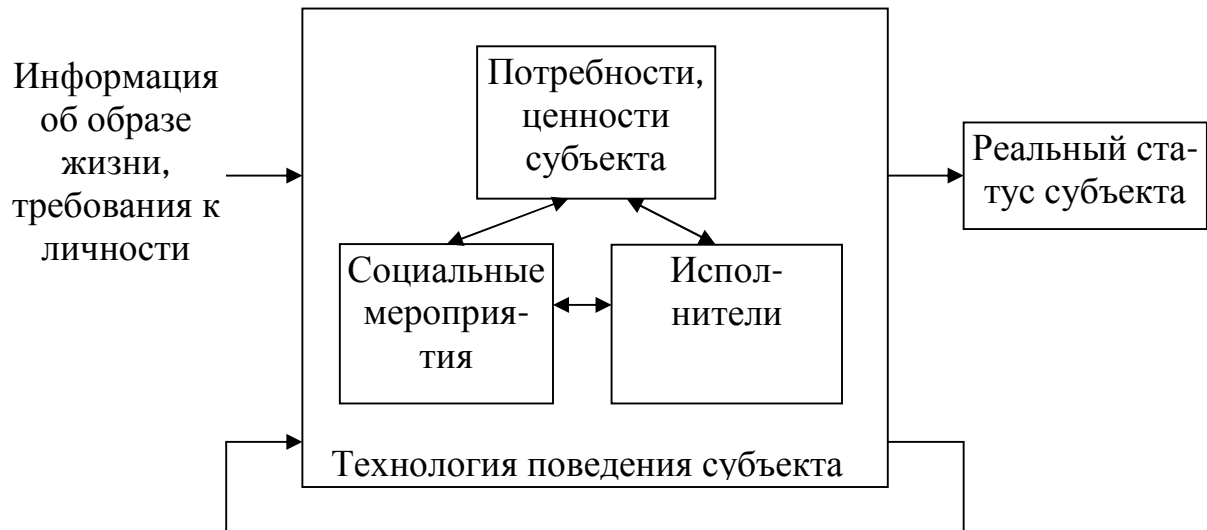


Рис. 2.16. Модель структуры подсистемы «коллектив»

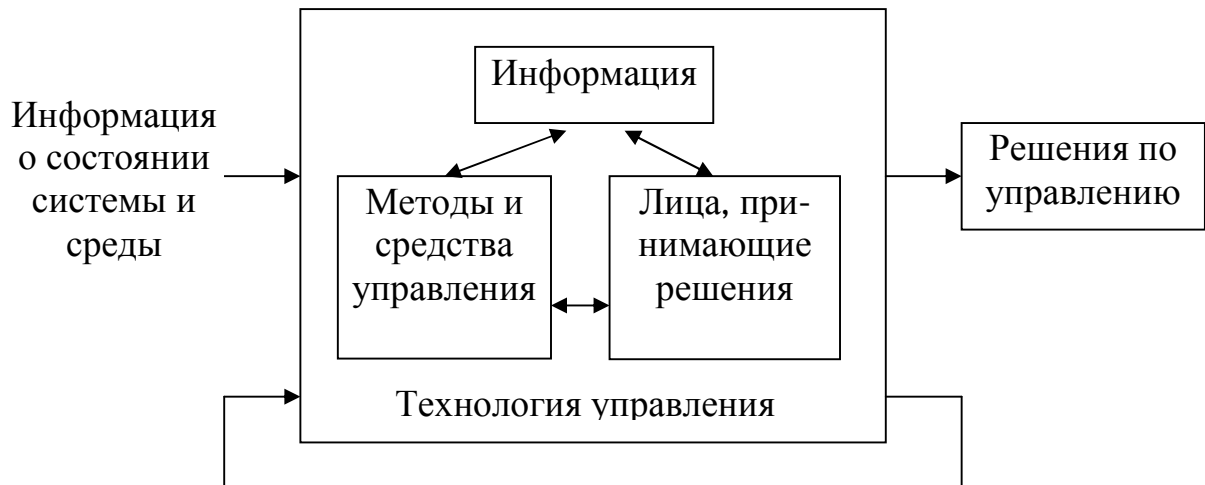


Рис. 2.18. Модель структуры подсистемы «управление»

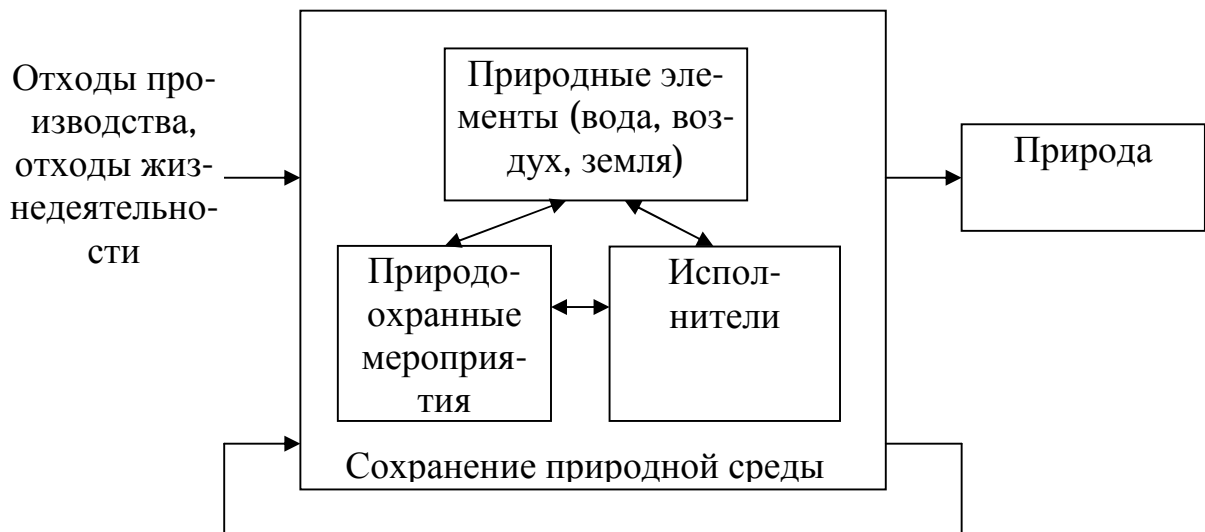


Рис. 2.17. Модель структуры подсистемы «природа»

Каждый из структурных элементов (конечных продуктов, средств деятельности, предметов деятельности, исполнителей) может быть описан своей совокупностью параметров. Кроме того, технологический процесс, протекающий в системе (подсистеме) характеризуется параметрами, описывающими процесс в целом. Такие параметры будем называть параметрами процесса.

Последовательность применения стандартных моделей может быть различной, хотя и не совсем произвольной (нельзя, например, сначала выделить подсистемы, соответствующие различным технологическим стадиям, а потом выделять подсистемы производства, транспортировки и сбыта

продукции). При этом декомпозиция оказывается особенно плодотворной в тех случаях, когда в качестве подсистем оказываются более или менее самостоятельно функционирующие части системы. Для таких подсистем характерны относительно слабые связи между подсистемами и сильные связи внутри подсистем.

Так, например, если производство разных конечных продуктов очень отличается, то сначала нужно выделить подсистемы — производители отдельных продуктов, а затем проводить декомпозицию по видам производственной деятельности. Если же технологический цикл производства различных конечных продуктов почти одинаков, осуществляется на одних и тех же площадях, то выделение подсистем-производителей различных видов продукции можно вообще не производить.

Перейдем к рассмотрению стандартных моделей системы управления организационно-технологическим объектом.

Ниже приводятся основания декомпозиции для расчленения процесса управления на отдельные подпроцессы (подсистемы).

1. Декомпозиция на подсистемы, в которых осуществляется управление отдельными подсистемами ОУ.

Подсистемная структура СУ в первую очередь определяется составом производственно-технологических объектов предприятия (цехи, производства и т.д.). Так, например, в системе управления предприятием выделяются:

- службы главного инженера, отвечающего за развитие производства;
- службы главного технолога, обеспечивающего эффективное управление технологическим процессом;
- службы главного механика, отвечающего за эффективное использование оборудования, механизмов и т.д.

Каждой из подсистем СУ решаются определенные задачи управления ОУ. Задачи неоперативного управления предприятием преимущественно решаются верхними звеньями системы управления. Нижние уровни иерархической структуры СУ решают в основном задачи оперативного управления.

2. Выделение подсистем, соответствующих этапам управленческого цикла (перспективное планирование, текущее планирование, оперативное управление).

3. Выделение подсистем, соответствующих основному и обеспечивающему процессам в СУ.

В процессе управления основным можно считать процесс принятия решений, а к обеспечивающему процессу будем относить информационную систему, обеспечивающую сбор, передачу, хранение, предварительную обработку информации и т.д.

4. Выделение подсистем, реализующих основные функции СУ (регистрация, сбор, передача, обработка, отображение, хранение, защита, уничтожение информации и т.д.).

5. Выделение стадий процессов СУ. Здесь используются основные типы соединений стадий, применяемые для анализа ОУ.

Пример. Декомпозиция СУ по рассмотренному основанию позволяет определить технологию формирования в СУ управляющих команд (решений, распоряжений и т.п.), в соответствии с которыми меняется ход производства КП в объекте управления.

6. Выделение структурных элементов системы управления и ее подсистем и взаимосвязей элементов структуры (рис. 2.18).

В системе управления реализуются информационно-вычислительные процессы переработки входной информации, являющейся предметом деятельности, в управляющие воздействия, которые являются конечным продуктом СУ. Входная информация поступает от объекта

управления (производства) и от предприятий и организаций, входящих в окружающую среду. В обработке информации участвуют работники служб управления предприятием. В процессе управления в настоящее время широко используется вычислительная техника, оргтехника, средства связи. Эти элементы относятся к средствам деятельности. Кроме того, к средствам деятельности относятся методы и модели управления.

Так же, как и исследуемая система, окружающая среда может быть описана совокупностью стандартных моделей. Рассмотрим стандартные модели декомпозиции окружающей среды.

1. При составлении описания состояния системы полезным шагом является декомпозиция среды (ОС) на подсистемы, являющиеся потребителями КП системы и (или) поставщиками ПД, СД, исполнителей.

Выходные и входные связи между системой и окружающей средой указывают соответственно потребителей и источники вещества, энергии и информации в окружающей среде. Укажем, что одна и та же подсистема ОС может одновременно быть как потребителем, так и источником.

2. По виду социальной деятельности будем выделять в ОС подсистемы: "управление", "производство", "население", "природа".

Подсистема "управление" включает организации, с которыми исследуемая система обменивается управленческой информацией.

Подсистема "производство" включает отдельные подсистемы, потребляющие и поставляющие производственную продукцию.

Подсистема "население" включает тех людей, которые взаимодействуют с системой в процессе ее функционирования и развития.

Подсистема "природа" включает лесные и земельные угодья, воздушный и водный бассейн ОС.

3. Выделение частей подсистем "управление", "производство", "население", "природа".

Так, в подсистеме "управление" окружающей среды можно выделить следующие части: вышестоящие системы, подчиненные системы, другие системы управления, взаимодействующие с описываемой системой. В состав вышестоящих систем входят отраслевые органы, а также органы территориального управления и т.д.

Подсистема "производство" окружающей среды включает: предприятия, поставляющие материальные и финансовые ресурсы (товарный и финансовый рынки); предприятия, потребляющие продукцию системы; предприятия-партнеры, участвующие в деятельности системы.

Подсистема среды "население" включает население, потребляющее продукцию системы и служащее источником рабочей силы (трудовой рынок).

Подсистему среды "природа" образует прилегающая территория, на которую воздействует исследуемая система (водный и воздушный бассейн, лесные и земельные угодья и т.д.).

На рис. 2.19 приведена стандартная модель системы и окружающей среды на уровне подсистем социальной деятельности и указаны связи подсистем исследуемой системы с подсистемами окружающей среды.



Рис. 2.19. Модель связей системы и окружающей среды.

Опишем основные связи подсистем. Каждой связи приписываются два кода: первый код указывает на подсистему-источник, а второй — на подсистему-потребитель.

- 1.2,1.1 — информация о процессах производства конечного продукта, о состоянии оборудования, о процессах материально-технического обеспечения, о процессах ремонта, капитального строительства и реконструкции, о потерях, отходах и др.;
- 1.1,1.2 — планы производства и выпуска продукции, графики плановопредупредительных ремонтов, планы ремонта и капитального строительства, планы поставок материалов и оборудования, планы развития и реконструкции производства и т.д.;
- 1.2,2.2 — поставка продукции предприятиям и организациям;
- 2.2,1.2 — приобретаемые сырье, материалы, оборудование, технологии и другие элементы материально-технического снабжения;

- 1.3,1.1 — информация о сотрудниках и проблемах коллектива, об условиях работы и отдыха и др.;
- 1.1,1.3 — графики контроля условий труда сотрудников и планы улучшения условий труда и отдыха, повышения уровня жизни сотрудников и членов их семей и т.д.;
- 1.4,1.1 — информация о состоянии территории, закрепленной за предприятием (степень загрязненности, уровень загазованности, уровень пожароопасности и т.д.);
- 1.1,1.4 — графики контроля за параметрами загрязнения территории, планы природоохранных мероприятий;
- 1.2,1.3 — создание условий труда и отдыха для сотрудников;
- 1.2,1.4 — выполнение природоохранных мероприятий;
- 2.1,1.1 — законодательные и нормативные акты, определяющие механизмы хозяйствования;
- 1.1,2.1 — информация о деятельности системы (производственно-финансовой, социальной и природоохранной), предложения о развитии и реконструкции;
- 1.1,2.2 — информация о возможностях и потребностях системы;
- 1.1,2.3 — информация о возможностях системы в интересах населения, о потребностях в рабочей силе;
- 2.3,1.1 — предложения рабочей силы;
- 2.4,1.4 — креативные (восстановительные) возможности природы;
- 1.2,2.4 — загрязнение природы отходами производства;
- 1.4,2.4 — восстановление и очистка природной среды.

Предложенный набор стандартных моделей не является исчерпывающим и может пополняться и конкретизироваться в зависимости от типа

системы и целей моделирования. Описанные стандартные модели используются различными прикладными методиками системного анализа.

3 Модели и методы принятия решений

3.1 Системная последовательность принятия решений

Рассмотрим следующие основные этапы технологии разработки управленческих решений, выделяемые в литературе по проблемам управления [2- 5, 13, 14].

Этап 1. Выявление и описание проблемной ситуации

Формулировка проблемы является наиболее важной ступенью в решении самой проблемы, т.к. даже абсолютно верный ответ на неправильную постановку проблемного вопроса может только усугубить проблему (операция прошла успешно, но пациент умер). Процесс формулировки проблем является сложной задачей. Главные причины такого положения заключаются в объективной сложности, многомерности и много-связности проблем организационного управления, неструктуризованном характере многих из них, трудностях измерения многих переменных, отсутствии априорных сведений о существенных связях между ними [2, 3]. Все это делает процесс формулировки проблемы творческим процессом. Так как проблема определяется как несоответствие между желаемым и фактическим состоянием объектов управления, то для описания проблемной ситуации, определения и анализа количественных оценок разногласий текущего и нормативного (прогнозного) состояния используются методы прогнозирования, экспертные и системного анализа.

В целом этап 1 должен дать ответы на такие вопросы:

Какую проблему и в каких условиях нужно решать?

Когда ее нужно решать?

Какими силами и средствами будет решаться проблема?

Этап 2. Формирование целей системы управления

Для определения желаемого состояния по устранению проблемной ситуации необходимо сформулировать множество целей системы. Чем точнее будут сформулированы цели системы, тем легче выбрать средства их достижения. На данном этапе целевыявления определяется, что нужно сделать для снятия проблемы. Если на этапе 1, формулируя проблему, мы говорим в явной форме, что нам не нравится (согласимся — это сделать сравнительно просто), то на этапе 2 мы пытаемся сформулировать, что же мы хотим, указывая направления выхода из существующей проблемной ситуации.

Методологической основой целевыявления является системный анализ с использованием экспертных методов [2, 5, 14].

Этап 3. Формирование критериев выбора решений

Сравнение и выбор альтернативных решений возможен, если ввести измеритель степени достижения намеченной цели. Таким измерителем является критерий. Содержанием данного этапа является построение системы критериев, однозначно характеризующих соответствующие цели субъекта управления. Сформированные критерии в дальнейшем должны в некотором смысле заменить цели, стать их подобием, моделью целей. Критерием ценности альтернативы может служить любой ее признак, измеренный на качественном либо количественном уровне. Например, объем финансирования учебного процесса очень низкий или, например, составляет 30 тыс. рублей в год.

Одним из требований повышения адекватности описания цели является требование многокритериальности. Для описания цели должно быть введено столько критериев, чтобы они достаточно полно характеризовали цель при минимальном их числе. Это требование удовлетворяется, если критерии независимы. Поиск компромисса между полнотой (точностью)

описания целей и количеством критериев является более искусством, чем наукой. Определение критериев выбора решений может быть осуществлено методами экспертных оценок, а также с помощью методов математической статистики [2].

Этап 4. Выработка (генерация) решений

На данном этапе вырабатываются альтернативные варианты решений, осуществляется поиск различных путей, способов достижения поставленных целей. Формирование решений — это творческий процесс, является наиболее трудным и ответственным. Без альтернативных вариантов решений отпадает и задача выбора, более того, множество исходных альтернатив должно быть достаточно полным, характеризоваться большой степенью уверенности наличия оптимальной альтернативы, в целях нахождения которой и решается задача выбора. Чем же определяется полнота множества альтернативных вариантов решений? Сколько нужно формировать вариантов для создания условий выбора оптимального решения? Формально — ровно столько, сколько принципиально возможно в рамках имеющихся ресурсов для принятия решений. Важно также соотношение затрат на формирование альтернатив с ожидаемым эффектом от выбранного решения. От альтернатив следует отказаться, если ожидаемый эффект небольшой, а имеющиеся ресурсы следует направить на поиск других вариантов решений.

Опыт и рекомендации по генерированию новых альтернатив изложен в ряде работ. Наиболее зарекомендовавшими себя на практике организационными формами генерирования альтернатив являются мозговой штурм, синектика, разработка сценариев, морфологический анализ, деловые игры, когнитивные карты.

Этап 5. Согласование и выбор решения

На данном этапе необходимо осуществить выбор решения по определенной схеме или алгоритму, наилучшему с точки зрения некоторого критерия, некоторого принципа оптимальности.

В задачах принятия решений в условиях определенности поиск оптимальных решений достаточно формализован. Используемые методы оптимизации математического программирования, вариационного исчисления, эвристические, организованного поиска и другие в настоящее время получили широкое распространение [4].

Математическое программирование — математический метод решения многомерных задач на экстремум целевой функции переменных с ограничениями на область изменения этих переменных. Вариационное исчисление является методом классического математического анализа, основано на применении аппарата дифференциального и интегрального исчисления для нахождения экстремумов функционалов. Эвристические методы построены на использовании правил, приемов, упрощений, обобщающих опыт поиска решения, близкого к оптимальному, организованными способами перебора возможных вариантов [13].

Для оценки альтернатив разрешения слабо формализуемых сложных проблем привлекаются эксперты. Методы экспертных оценок позволяют формализовать предпочтения экспертов и использовать формальные процедуры для их обработки.

При решении задач принятия решений по многим критериям (задач многокритериальной оптимизации) возникают трудности определения наилучшего с точки зрения ЛПР компромиссного решения из множества допустимых решений, в том числе и оптимальных решений, полученных по отдельным локальным критериям. К этим трудностям прежде всего относят нормализацию критериев, определение принципа (схемы) выбора

компромиссного решения (принципа оптимальности), учет приоритета критериев.

В случае, если в процессе принятия решений участвуют несколько субъектов управления, взаимодействие которых определяется в основном взаимным влиянием их решений, и эти решения в силу объективных и субъективных причин отличны друг от друга, то возникает необходимость в согласовании решений.

Методы теории игр позволяют выбрать компромиссные решения в условиях конфликта либо разногласия, а также в условиях информационной недостаточности [4].

Исследовать организационную сторону процесса выработки коллективных решений, оценить важность используемой информации в оценке альтернативных действий, приобрести навыки согласования и принятия решения позволяют деловые игры [3].

Этап 6. Реализация и оценка решения

План реализации выбранного решения должен дать ответы на вопросы: кто и что должен делать, какими средствами и в какие сроки? Конкретизация решения по исполнителям может производиться путем решения задачи о назначениях исполнителей на выполнение комплекса работ, по срокам и объектам работ — методами сетевого планирования и управления (СПУ) [4]. Конкретизация ресурсного обеспечения может быть осуществлена путем решения задачи распределения ресурсов методами математического программирования.

Решение может оказаться недействительным по причине срыва плана его реализации. Поэтому контролирование и регулирование хода реализации решения занимает важное место в процессе управления. Как правило, это регулирование осуществляется на базе методов СПУ.

Оценка эффективности решения складывается из оценки качества самого решения и оценки качества исполнения. Поскольку управленческие решения влияют на социальную среду, производственную и финансовую деятельность, то для всесторонней оценки эффективности решений необходимо производить социологический, производственный, финансовый анализ последствий этих решений.

В заключение настоящего раздела следует отметить, что приведенная последовательность этапов разработки управленческих решений отражает в основном рациональную последовательность действий ЛПР. В действительности процесс разработки решений является более сложным и не всегда строится по приведенной схеме. Реальный процесс допускает определенную параллельность выполнения этапов и процедур, кроме того, при выполнении той или иной процедуры по мере получения новой и дополнительной информации возникает необходимость корректировки предшествующих процедур.

Из приведенных рекомендаций по разработке решений следует, что все этапы процесса принятия сложных решений допускают использование строгих математических методов в сочетании с субъективными предпочтениями ЛПР и экспертов. Таким образом, вопросы автоматизации процесса разработки решений становятся все более актуальными, требующими более широкого применения компьютерных систем поддержки решений в практике управления [13].

Имеется множество различных вариантов системной последовательности принятия решений. Так, в [3] приведены 5 различных последовательностей, разработанных крупными специалистами по системному анализу — С.Л. Оптнером, С. Янгом, Н.П. Федоренко, С.П. Никаноровым и Ю.И. Черняком. Основные моменты, отличающие другие схемы от приведенной выше последовательности: конкретизация отдельных этапов, из-

менение порядка следования этапов, адаптация к конкретной предметной области.

3.2 Методы генерации решений

3.2.1 Общая характеристика методов генерации решений

Генерирование альтернативных решений достижения целей является творческим процессом ЛПР и экспертов, требующим анализа и синтеза предшествующих элементов процесса разработки решений: проблемной ситуации, времени и ресурсов, целей и ограничений. В условиях ограничения времени и ресурсов главным источником информации при разработке решений являются знания и опыт ЛПР и экспертов в предметной области решений. Рекомендации относительно генерирования новых идей и альтернатив решения проблем изложены в ряде публикаций [3, 15, 16].

Все множество управленческих решений в зависимости от новизны проблемной ситуации можно разделить на три типа [13]:

- стандартные решения,
- усовершенствованные решения,
- оригинальные решения.

Если данная проблемная ситуация уже неоднократно встречалась в прошлом (типовая), то необходимо воспользоваться известным стандартным решением. Если данная проблемная ситуация отличается некоторыми особенностями от типовой, то целесообразно только конкретизировать стандартные решения применительно к данной ситуации, получив видоизменение известных вариантов решений и пополнив банк данных типовых проблемных ситуаций и стандартных решений. Оригинальные решения разрабатываются, когда известные пути решения не годятся либо имеют низкую эффективность достижения целей.

Для разработки новых и оригинальных решений наиболее часто используют экспертные методы [3], при этом обращают внимание на требо-

вания полноты множества альтернативных решений, степень достижения целей и возможности реализации решения. Количество сгенерированных альтернатив на начальном этапе не ограничивается. В дальнейшем каждый вариант решения должен быть комплексно проанализирован не только с позиции степени достижения целей, но и всех факторов, определяющих возможность его осуществления. Полнота генерируемого множества решений может быть достигнута путем генерирования промежуточных вариантов решений между двумя крайними — идеальным и наихудшим. Идеальный вариант решения характеризуется высокой степенью достижения целей любой ценой, и, как правило, не реализуется. Наихудший вариант решения может характеризоваться бездействием. После формирования альтернативных решений приступают к выявлению их предпочтений.

В практике управления и принятия решений хорошо зарекомендовали себя следующие способы генерирования решений: мозговой штурм, синектика, разработка сценариев, морфологический анализ, деловые игры. Эти способы в литературе достаточно подробно описаны, поэтому остановимся только на некоторых моментах.

3.2.2 Мозговой штурм

Мозговой штурм представляет собой групповое обсуждение с целью получения новых идей, вариантов решений проблемы. Мозговой штурм часто называют также мозговой атакой, методом генерации идей. Характерной особенностью этого вида экспертизы является его использование в трудных тупиковых ситуациях, когда известные пути и способы решения оказываются непригодными. При использовании метода мозгового штурма целесообразно использовать следующие принципы [15, 16]:

- сознательное генерирование как можно большего количества вариантов. Предпочтение отдается количеству идей, а не качеству (идеи высказываются кратко — без обсуждения);

- запрет критики любой идеи, какой бы дикой она ни казалась. Не рекомендуется отбрасывать альтернативы, кажущиеся, на первый взгляд, абсурдными, надуманными;
- предпочтение отдается не систематическому логическому мышлению, а фантазии;
- комбинирование или усовершенствование идей, предложенных участниками мозгового штурма.

При организации работ на этапе генерации альтернатив необходимо помнить о существовании факторов, как тормозящих работу, так и способствующих ей. К числу таких факторов можно отнести психологическую несовместимость экспертов, различную инертность мышления, эмоциональные преграды, физическое состояние, среду обитания и т.д. Совокупность этих факторов должна позволять эксперту не только самому продуктивно генерировать варианты, но и создавать условия для успешной деятельности других участников. Продуктивному мышлению способствует юмор, смех, свободные дружеские отношения.

При значительном количестве альтернатив рекомендуется проводить предварительную «грубую» классификацию. Желательно список идей разбить на группы:

- легко реализуемые;
- наиболее перспективные и эффективные;
- прочие.

3.2.3 Метод разработки сценариев

В некоторых проблемах (особенно в социотехнических) искомое решение должно определить реальное будущее течение событий. В таких случаях альтернативами являются различные (воображаемые, но правдоподобные) последовательности действий и вытекающих из них событий, которые могут произойти в будущем с исследуемой системой. Эти после-

довательности имеют общее начало (настоящее состояние), но затем возможные состояния различаются все сильнее, что и приводит к проблеме выбора. Такие гипотетические альтернативные описания того, что может произойти в будущем, называют сценариями, а рассматриваемый метод — разработкой сценариев. Сценарии-альтернативы представляют ценность для лиц, принимающих решения, только тогда, когда они не просто плод фантазии, а логически обоснованные модели будущего, которые после принятия решения можно рассматривать как прогноз, как приемлемый рассказ о том, “что случится, если...” [3]. Создание сценариев относится к типичным не формализуемым процедурам, представляет собой творческую, научную работу. Тем не менее, и в этом деле накоплен определенный опыт, имеются свои эвристики. Например, рекомендуется разрабатывать “верхний” и “нижний” сценарии — как бы крайние случаи, между которыми может находиться возможное будущее. Такой прием позволяет отчасти компенсировать или явно выразить неопределенности, связанные с предсказанием будущего. Иногда полезно включать в сценарий воображаемый активно противодействующий элемент, моделируя тем самым “наихудший случай”. Кроме того, рекомендуется не разрабатывать детально (как ненадежные и непрактичные) сценарии, слишком “чувствительные” к небольшим отклонениям на ранних стадиях. Важными этапами создания сценариев являются: составление перечня факторов, влияющих на ход событий, со специальным выделением лиц, которые контролируют эти факторы прямо или косвенно; выделение аспектов борьбы с такими факторами, как некомпетентность, халатность и недисциплинированность, бюрократизм и волокита; учет наличных ресурсов и т.д..

3.2.4 Морфологический анализ

Метод морфологического анализа (МА) разработан в 30-е годы швейцарским астрономом Ф. Цвикки для конструирования астрономиче-

ских приборов. МА основан на комбинаторике. Суть данного метода заключается в следующем. В проектируемом объекте выбирают группу основных признаков. В качестве признаков могут быть элементы конструкции либо функции элементов. Для каждого признака предлагаются различные альтернативные варианты его реализации. Затем предложенные варианты **комбинируют** между собой. Из всего множества получаемых комбинаций выбираются допустимые, а затем наиболее эффективные варианты по некоторым критериям качества [15, 16].

Рассмотрим последовательность проведения морфологического анализа, поясняя содержание каждого этапа на примере разработки сумки, предназначенной для учебных занятий студентов.

Этап 1. Постановка задачи

Здесь формулируются: проблемная ситуация, требования (ограничения) к проектируемому объекту, критерии оценки качества вариантов.

Пример.

Проблемная ситуация: выпускаемые сумки имеют неудобные размеры, не надежны, не модны.

Требования: сумка должна вмещать 5 тетрадей, 3 книги, иметь карманы для денег и ручек.

Критерии: стоимость, эстетичность, надежность.

Этап 2. Выделение признаков объекта и формирование морфологической таблицы

На данном этапе выделяются признаки (элементы конструкции объекта, функции, свойства) и разрабатываются альтернативные варианты для каждого признака. В качестве отдельных альтернатив могут быть комбинации уже предложенных вариантов. Результаты этапа оформляются в виде морфологической таблицы.

В таблице 3.1 приведена морфологическая таблица для проектирования различных вариантов сумки.

Таблица 3.1 — Морфологическая таблица проектирования сумки

Признаки	Альтернативные варианты			
	1	2	3	4
Форма сумки	A11- плоская удлиненная вширь	A12- плоская удлиненная вниз	A13- круглая (цилиндр)	A14 — сун- дучок
Форма и раз- мер ручек	A21 — одна длинная	A22 — две коротких	A23 — как у рюкзак	A24 = A21+ + A22 (одна длинная и 2 коротких)
Материал сумки	A31 — кожа	A32 — кож- заменитель	A33 — бо- лонь	
Застежка	A41 — мол- ния	A42 - застежки	A43 -липучки	
Расположе- ние карманов	A51 — один наружный	A52 — один внутренний	A53 = A51 + + A52	
Украшения	A61 — ап- пликация	A62 — ме- таллические заклепки	A63 = A61 + + A62	

Этап 3. Формирование комбинаций по всем признакам и сокращение комбинаций

Взяв из каждой строки морфологической таблицы по одному варианту, получим вариант решения:

$$P1 = A11, A21, A31, A41, A51, A61;$$

$$P2 = A11, A21, A31, A41, A51, A62;$$

$$P3 = A11, A21, A31, A41, A51, A63;$$

...

Общее количество возможных решений равно

$$N = n_1 \times n_2 \times \dots \times n_m,$$

где n_i — число альтернативных вариантов по i -тому признаку.

Для нашего примера $N = 4 \times 4 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 1296$.

Сокращение числа решений ведется за счет отбрасывания наихудших комбинаций альтернатив, а именно: несовместимых, наименее эффективных и труднореализуемых, не соответствующих требованиям.

Рассмотрим один из эвристических приемов сокращения комбинаций. Предлагается комбинировать альтернативы не по всем сразу признакам, а сначала рассмотреть комбинации альтернатив по двум признакам и отбросить наихудшие комбинации. Затем оставшиеся комбинации комбинируются с еще одним признаком и т.д.

Пример. Берем 2 признака — «Форма сумки» и «Форма и размер ручек». В таблице 3.2 каждая ячейка (на пересечении строк и столбцов) соответствует комбинации этих признаков. Наихудшие варианты вычеркнуты (помечены крестиком)

Таблица 3.2

Форма сумки	Форма и размер ручек			
	A21	A22	A23	A24
A11	×		×	
A12	×	×		×
A13		×	×	×
A14	×		×	×

Оставшиеся комбинации — $A_{11}+A_{22}$, $A_{11}+A_{24}$, $A_{12}+A_{23}$, $A_{13}+A_{21}$, $A_{14}+A_{22}$ — далее комбинируются с вариантами еще одного признака, например «Материал сумки». В таблице 3.3 отображены результаты выбора комбинаций на данном шаге.

Таблица 3.3

Материал сумки	Форма сумки + форма и размер ручек				
	$A_{11}+A_{22}$	$A_{11}+A_{24}$	$A_{12}+A_{23}$	$A_{13}+A_{21}$	$A_{14}+A_{22}$
A_{31}	×		×	×	
A_{32}	×				
A_{33}		×			×

Процесс продолжается, пока не будут использованы все признаки.

Оставшиеся комбинации образуют множество перспективных решений. Из этого множества в дальнейшем может быть выбрано оптимальное решение, например с помощью методов выбора, рассматриваемых ниже.

3.3 Методы выбора

3.3.1 Модели и методы исследования операций

В условиях определенности задачи принятия решений, как правило, хорошо формализуются и описываются в терминах количественных переменных, и для их решения используются оптимизационные модели и аппарат математического программирования. Независимо от того, какой метод решения задачи используется, всегда отыскивается оптимальное или близкое к нему решение, максимизирующее критерий качества на модели (целевую функцию) при заданных условиях и ограничениях.

Наиболее хорошо разработаны модели и алгоритмы решения на этих моделях для следующих классов задач исследования операций [4, 13, 17]:

- распределения,

- управления запасами,
- массового обслуживания,
- упорядочения и координации,
- выбора маршрута;
- принятия решений в условиях противодействия.

Распределительные задачи связаны с распределением ресурсов по работам, при котором минимизируются общие затраты (либо максимизируется общий доход). Они могут решаться методами линейного и динамического программирования. Яркими представителями распределительных задач являются задачи транспортные, о назначениях, использования ресурсов.

Задача управления запасами заключается в минимизации убытков, связанных с пополнением и хранением запасов и издержками из-за неудовлетворенного спроса. В результате решения получают ответ относительно размеров заказываемой партии, величины уровня запасов, точек размещения заказов и др.

Цель теории массового обслуживания — анализ процесса образования очередей «клиентами» при обслуживании, взаимосвязей между их основными характеристиками и выявление наилучших путей управления ими. В системах массового обслуживания присутствуют издержки, связанные с потерей клиентов из-за большой очереди или простоем оборудования. Задача сводится к минимизации всех видов издержек.

Содержанием **задач упорядочения и координации** является выбор дисциплины очереди. В качестве критерия оптимальности может быть время обслуживания, издержки по переналадке механизмов и др. Наиболее актуальными задачами являются задачи сетевого планирования и теории расписаний. В задачах сетевого планирования оптимизируются сроки выполнения всего комплекса операций (работ), представленного в виде сетевого графика, либо при заданных сроках минимизируются ресурсы на вы-

полнение этих операций. В задачах теории расписаний формируется очередность операций, выполняемых одной машиной (задача директора), либо составляется расписание выполнения последовательности действий несколькими машинами. При решении задач сетевого планирования и теории расписаний широко применяется теория графов и комбинаторный анализ.

К задачам упорядочения тесно примыкают **задачи выбора маршрута**. На сети ищется маршрут доставки грузов нескольким потребителям либо в адрес одного, который минимизирует затраты на доставку. К данной группе задач выбора в качестве типичного представителя относят задачу коммивояжера.

В случае, если во внешней среде участвуют силы, активно противодействующие лицу, которое принимает решение, т.е. имеют место конфликтные ситуации, для **принятия решений в условиях противодействия** применяют методы теории игр.

3.3.2 Методы экспертных оценок

При исследовании сложных систем возникают проблемы, выходящие за пределы формальных математических постановок задач. В таком случае прибегают к услугам экспертов, т.е. лиц, чьи суждения и интуиция могут уменьшить сложность проблемы. Обсудим вопросы привлечения экспертов к решению конкретной и частной задачи системного анализа — задачи выбора. Правда, в этой частной задаче имеются и некоторые общие черты экспертных методов, например подходы к оценке компетентности экспертов, к интерпретации даваемых ими результатов и пр.

Основная идея экспертных методов состоит в том, чтобы использовать интеллект людей, их способность искать и находить решение слабо формализованных задач. Однако особенность интеллектуальной деятельности людей состоит в том, что она во многом зависит от внешних и внутренних условий. Поэтому в методиках организации экспертных оценок

специальное внимание уделяется созданию благоприятных условий и нейтрализации факторов, неблагоприятно влияющих на работу экспертов [3].

Простейший вариант состоит в следующем. Если эксперты предлагают различающиеся упорядочения альтернатив, то возникает вопрос о том, как использовать мнения всех экспертов для окончательного упорядочения? Это далеко не тривиальная задача. Фактически мы возвращаемся к проблеме коллективного выбора со всеми его особенностями, в том числе — с возможностями парадоксов [3].

Предположим, например, что эксперты оценивают альтернативы в числовых шкалах. Пусть $q_j(x_i)$ — оценка i -й альтернативы j -м экспертом ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$). Оценки $q_1(x_i), \dots, q_n(x_i)$ можно рассматривать как “измерения” искомой “истинной характеристики” $q(x_i)$, считая отклонения $q_j(x_i) - q(x_i)$ случайными величинами. В качестве приближения можно использовать некоторую статистику: $q'(x_i) = q'(q_1(x_i), \dots, q_n(x_i))$; обычно это выборочное среднее

$$q'(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j(x_i).$$

Сложнее обстоит дело, когда альтернативы нельзя оценить сразу одним числом и экспертам предлагается дать оценки отдельно по каждому показателю. Например, оценка качества промышленного изделия складывается из оценок признаков социальных (уровень потребности), функциональных (степень соответствия назначения), экономических, эстетических, эргономических и др. В этом случае имеем набор чисел $q_{jk}(x_i)$, где k — номер признака. Кроме этих чисел экспертов просят оценить степень важности λ_{jk} каждого показателя (если это не выполнено другим способом). Тогда

$$q'(x_i) = \frac{1}{n} \sum_j \sum_k \lambda_{jk} q_{jk}(x_i).$$

Следующее уточнение вводят в случае неоднородности группы экспертов. Естественно придать различные (а не одинаковые, равные $1/n$) веса мнениям экспертов, имеющих разную квалификацию. Определение коэффициента α_j компетентности j -го эксперта можно поручить самим экспертам. Пусть каждый из них (I -й) оценивает компетентность других числами $0 \leq \alpha_{Ij} \leq 1$ (при этом и свою — числом α_{II}). Усреднение дает $\alpha_j = \sum_I (\alpha_{Ij} / \sum_s \alpha_{Is})$. В результате получают итоговую оценку

$$q'(x_i) = \sum_j \sum_k \alpha_j \lambda_{jk} q_{jk}(x_i).$$

В тех случаях, когда эксперты лишь упорядочивают альтернативы, т.е. используют только порядковую шкалу, возможность арифметических операций отпадает. Существуют специальные методы обработки экспертной информации, измеренной в нечисловых шкалах (назывных, шкалах порядка).

3.3.3 Многокритериальный выбор на основе экспертных оценок

Постановка задачи многокритериального выбора [3]. Будем предполагать, что множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ альтернативных решений сформировано тем или иным методом генерации альтернатив (методами мозгового штурма, морфологического анализа, сценариев, деловых игр и др.). Необходимо выбрать одну (или несколько) наиболее предпочтительных альтернатив. Для выбора наилучшего альтернативного решения из исходного множества X необходимо сформировать критерий выбора. Большинство методов выбора предполагают, что каждую альтернативу можно оценить по критерию определенным числом (значением критерия).

Наилучшей считается альтернатива, имеющая наилучшее значение критерия. Для большинства задач выбора невозможно использовать какой-либо один критерий. В этом случае используют несколько критериев $F_i, i = \overline{1, n}$, описывающих одно решение с разных сторон и дополняющих друг друга. Такие критерии будем называть частными.

Рассмотрим пример. При выборе конструкции самолета проектировщикам следует учитывать множество критериев: технических (высотность, скорость, маневренность, грузоподъемность и т.д.), технологических (связанных с будущим процессом серийного производства), экономических (затраты на производство, обслуживание и т.д.), эргономических и пр.

Выбор по одному критерию сводится к отысканию альтернативы с наилучшим значением этого критерия. Многокритериальные задачи не имеют однозначного общего решения. Теоретически можно представить себе случай, когда имеется одна альтернатива, обладающая наилучшими оценками по всем критериям; она и является наилучшей. Однако на практике такие случаи встречаются редко. Часто по одному критерию наилучшей является одна альтернатива, по другому — другая.

Наиболее употребительным способом решения многокритериальной задачи является сведение ее к однокритериальной. Это означает введение интегрального критерия (суперкритерия) F , зависящего от частных критериев $F_i, i = \overline{1, n}$:

$$F = F(F_1, F_2, \dots, F_n).$$

Оценка альтернативы по интегральному критерию, таким образом, зависит от ее оценок по каждому частному критерию, т.е. интегральная оценка каждой альтернативы есть некоторая функция от оценок по частным критериям.

При определении интегральной оценки, кроме того, необходимо учитывать вклад каждого частного критерия в интегральный критерий. Дело в том, что частные критерии могут иметь разный вес (важность, ценность). Например, при проектировании гражданского самолета такой критерий, как надежность является более важным, чем маневренность.

Будем рассматривать формирование интегрального критерия для частного случая. Предположим, что каждую альтернативу x_j возможно оценить по критерию F_i числом в интервале от 0 до 1. Как правило, оценки выставляются экспертом или лицом, принимающим решения (ЛПР).

Важность частных критериев F_i будем оценивать коэффициентами важности (весовыми коэффициентами) w_i , отражающими относительный вклад критериев в суперкритерий. Множество весовых коэффициентов частных критериев $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, как правило, определяется экспертом (ЛПР) и отражает его личные предпочтения.

В дальнейшем будем предполагать, что весовые коэффициенты задаются положительным числом и сумма всех коэффициентов должна быть равна некоторой константе a , равной, например, 1 (10, 100, 1000):

$$\sum_{i=1}^n w_i = a$$

Ниже рассмотрены наиболее часто используемые виды интегральных критериев.

1) Максимум суммы взвешенных оценок

$$F = \sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i(x_j) \rightarrow \max_{x_j \in X} . \quad (3.1)$$

Наилучшей является альтернатива с максимальной суммой взвешенных оценок по всем частным критериям. Это наиболее распространенный критерий.

При максимальной оценке варианта по некоторому критерию, равной единице, его взвешенная оценка будет равна его весу. Таким образом, множество весов всех частных критериев характеризует идеальный возможный вариант.

Достоинство данного критерия заключается в его простоте и наглядном физическом смысле. Недостатком является следующее: можно получить относительно высокое значение интегрального критерия за счет больших значений отдельных частных критериев и малых значений других частных критериев.

2) Минимум суммы отклонений от «идеальной точки»

$$\sum_{i=1}^n w_i \bullet (\tilde{F}_i - F_i(x_j)) \rightarrow \min_{x_j \in X}. \quad (3.2)$$

Наилучшей является альтернатива с минимальным отклонением взвешенных оценок от максимальных значений частных критериев (\tilde{F}_i), т.е. наиболее приближенная к идеалу по всем критериям (к «идеальной точке»). В нашем случае «идеальной точкой» будет альтернатива со следующими значениями частных критериев:

$$F_1 = F_2 = \dots = F_n = 1.$$

Очевидно, что оптимальное решение, найденное по критерию (3.2) совпадает с оптимальным решением, найденным по критерию (3.1).

3) Минимум суммы квадратов отклонений от «идеальной точки»

$$\sum_{i=1}^n (w_i \bullet (\tilde{F}_i - F_i(x_j)))^2 \rightarrow \min_{x_j \in X}. \quad (3.3)$$

Этот интегральный критерий является более чувствительным к отклонениям. Критерий (3) позволяет «отсеять» альтернативы со значительными отклонениями значений частных критериев от их максимальных

значений, т.к. такие отклонения, возведенные в квадрат, резко ухудшают значение интегрального критерия.

В отличие от предыдущих видов интегрального критерия здесь альтернатива должна «равномерно» приближаться к идеалу.

4) Минимум максимального отклонения

$$\max_i w_i \cdot (F_i - F_i(x_j)) \rightarrow \min_{x_j \in X} . \quad (3.4)$$

Этот критерий позволяет «отбраковывать» альтернативы с большими отклонениями по отдельным критериям.

5) Максимум минимальной оценки

$$\min_i w_i \cdot F_i(x_j) \rightarrow \max_{x_j \in X} . \quad (3.5)$$

Для каждой альтернативы сначала находится минимальная взвешенная оценка по всем критериям. Наилучшей альтернативой является та, которая имеет максимальную оценку из минимальных оценок критериев. Этот критерий используется при выборе, когда нежелательны малые значения по частным критериям.

Рассмотрим пример выбора альтернативного варианта организационной структуры по интегральным критериям различных видов.

Множество X включает следующие альтернативы:

- X_1 — простая структура,
- X_2 — функционально-ориентированная структура,
- X_3 — структура на основе автономных центров (дивизиональная),
- X_4 — матричная структура.

Оценка каждого решения ведется по 9-ти частным критериям $F_i, i=\overline{1,9}$, приведенным в таблице 3.4. Коэффициенты w_i , отражающие

«вес» частных критериев, также приведены в таблице 3.4. Их сумма равна 100.

Вариантам экспертами выставляются качественные оценки от "неудовлетворительно" до "отлично". Экспертным оценкам сопоставляются числовые оценки по следующей схеме:

- отлично (о) = 1,0;
- очень хорошо (ох) = 0,75;
- хорошо (х) = 0,625;
- удовлетворительно (у) = 0,5;
- посредственно (п) = 0,25;
- неудовлетворительно (н) = 0.

Таблица 3.4 — Выбор варианта организационной структуры

Критерии	w_i	x_1	x_2	x_3	x_4
F_1 — Возможность компетентного управления	10	н	у	х	х
F_2 — Оперативность управления	5	н	н	ох	у
F_3 — Контролируемость работы подразделений	5	н	х	х	о
F_4 — Координируемость решений	15	х	у	у	п
F_5 — Адаптивность оргструктуры к изменению рынка	20	о	ох	о	х
F_6 — Затраты на административный аппарат	5	у	у	х	п
F_7 — Возможность технологического развития	10	о	х	о	ох
F_8 — Мотивация работы сотрудников	15	н	п	х	ох
F_9 — Ответственность подразделений за издержки и доходы	15	н	у	о	о
Значения интегрального критерия (1)		41,9	50,6	78,0	65,0
Значения интегрального критерия (2)		58,1	49,4	22,0	35,0
Значения интегрального критерия (3)		53,3	27,9	8,9	18,1
Значения интегрального критерия (4)		15,0	11,2	7,5	11,2
Значения интегрального критерия (5)		0,0	0,0	3,1	1,1

В таблице 3.4 приведены значения интегральных критериев для альтернатив. Из таблицы видно, что по всем интегральным критериям оптимальным является вариант x_3 — оргструктура на основе автономных центров. Естественным, что при решении других задач оптимальные варианты по разным интегральным критериям могут быть различными.

3.3.4 Метод Дельфи

Метод Дельфи представляет собой многотуровую процедуру анкетирования с обработкой и сообщением результатов каждого тура экспертам, работающим отдельно друг от друга. Этот метод был разработан Хелмером и Гордоном (США) в середине 50-х годов для составления всевозможных прогнозов. Экспертам предлагается ответить на ряд вопросов и свои ответы аргументировать. При этом какие-либо дискуссии между экспертами запрещены, что, по мнению авторов метода, исключает роль психологических и эмоциональных факторов, неизбежно проявляющихся во время открытой дискуссии [2].

Полученные от эксперта данные обрабатываются с целью выделения среднего или медианы и крайних значений оценок. Экспертам сообщаются результаты обработки первого тура опроса с указанием расположения оценок каждого эксперта. Если оценка эксперта сильно отклоняется от среднего значения, то его просят аргументировать свое мнение или изменить оценку.

Во втором туре эксперты аргументируют или изменяют свою оценку с объяснением причин корректировки. Результаты опроса во втором туре обрабатываются и сообщаются экспертам. Если после первого тура производилась корректировка оценок, то результаты обработки второго тура содержат новые средние и крайние значения оценок экспертов. В случае сильного отклонения своих оценок эксперты должны аргументировать или изменить свои суждения, пояснив причины корректировки. Проведение последующих туров осуществляется по аналогичной процедуре. Обычно после третьего или четвертого тура оценки экспертов стабилизируются, что и служит критерием прекращения дальнейшего опроса.

Итеративная процедура опроса с сообщением результатов обработки после каждого тура обеспечивает лучшее согласование мнений экспертов, поскольку эксперты, давшие сильно отклоняющиеся оценки, вынуж-

дены критически осмыслить свои суждения и обстоятельно их аргументировать. Необходимость аргументации или корректировки своих оценок не означает, что целью экспертизы является получение полной согласованности мнений экспертов. Конечным результатом может оказаться выявление двух или более групп мнений, отражающих принадлежность экспертов к различным научным школам, ведомствам или категориям лиц. Получение такого результата является также полезным, поскольку позволяет выяснить наличие различных точек зрения и поставить задачу проведения исследований в данной области.

3.3.5 Функционально-стоимостной анализ

Автором метода функционально-стоимостного анализа является Майлз. Цель метода — ускорить поиск путей снижения себестоимости изделия в проектных и производственных организациях.

Данный метод включает следующие этапы [16]:

Организовать бригаду по функционально-стоимостному анализу, в которую включают консультанта по методу и представителей всех служб (конструкторско-технологического отдела, служб управления производством, качеством, снабжения, калькуляции, контрактов, бухгалтерии и т.д.).

Сформулировать функцию всего изделия и определить требования по параметрам изделия.

Составить подробную калькуляцию себестоимости всех технологических операций по производству изделия, включающую расходы на приобретение материалов и комплектующих.

По каждой детали изделия комплексная бригада выполняет следующие шаги:

- определяет все функции детали;
- составляет перечень цен самых дешевых из всех известных устройств, способных выполнять эти функции и получает суммар-

ную цену выполнения всех функций, представляющую нижнюю границу цены детали;

- выбирает функционально совместимые устройства наиболее низкой стоимости;
- оформляет изменения исходного изделия.

Представить результаты стоимостного анализа на одобрение консультантам по функционально-стоимостному анализу, конструкторскому бюро, администрации.

В таблице 3.5 приведены функции изделия «зеркало заднего обзора автомобиля» и самые дешевые из имеющихся устройств для осуществления этих функций.

Таблица 3.5 — Функции зеркала заднего обзора автомобиля

Функции	Самое дешевое из имеющихся устройств для осуществления этой функции	Цена в долл.
1. Обеспечить обзор обстановки позади автомобиля	Карманное зеркальце в металлической оправе	0,20
2. Создать опору для небольшого предмета приблизительно в 50 мм от поверхности детали из листовой стали	Стальной стержень, приваренный обоими концами	0,02
3. Обеспечить возможность регулирования положения относительно горизонтальной и вертикальной осей	Две втулки на стержне, изогнутом под прямым углом	0,04
4. Создать устойчивость по обеим осям при вибрации	По одной пружинной шайбе на каждую ось	0,01
5. Обеспечить возможность замены всего узла	Резьбовое соединение	0,04
Минимальная суммарная ценность всех функций узла		0,31

4 Прикладные модели системного анализа

4.1 Иерархическая содержательная модель

Теория иерархических семантических (содержательных) моделей (ИСМ), описанная в [7, 9], в качестве основного принципа использует стратифицированный подход к построению модели. Система рассматривается как некоторый *процесс*, деятельность, преобразующая предметы деятельности в конечные продукты. Система разбивается на подсистемы, каждой из которых соответствует некоторый подпроцесс. Этот процесс разбивается на подпроцессы, т.е. некоторые функциональные блоки. В результате получаем дерево процессов.

Для построения такого дерева могут использоваться типовые основания декомпозиции (стандартные модели), которые позволяют формировать "однородную" иерархию процессов по типу "целое — часть". Такой подход позволяет описать систему на разных уровнях детальности описания. На рис.4.1 приведен фрагмент дерева деятельности системы организационно-технологического типа.



Рис. 4.1. Фрагмент дерева деятельности

Внутри каждой из подсистем, выполняющей некоторый процесс, выделяются структурные элементы, участвующие в выполнении данного процесса:

- предметы деятельности (ПД) — сырье, материалы, информация;
- конечные продукты (КП) — товары, услуги, информация;
- средства деятельности (СД) — здания, оборудование, инструменты;
- субъекты деятельности или кадры (К) — работники, исполнители.

Технология процесса характеризуется через отношение четырех групп элементов, обеспечивающих его выполнение.

Каждый из элементов предлагается описывать множеством семантических параметров (характеристик, свойств). Весь процесс в целом также описывается множеством параметров, называемых параметрами процесса.

В результате для каждой подсистемы дерева процессов формируется содержательное описание, включающее классификаторы для каждой из 4-х групп структурных элементов, классификаторы параметров каждого элемента и классификаторы параметров процесса (рис. 4.2).

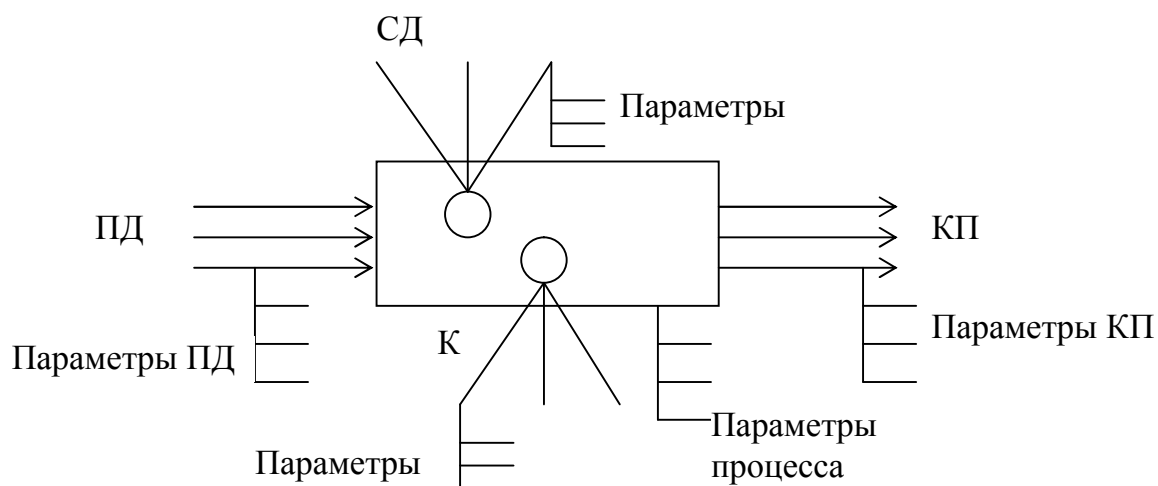


Рис. 4.2. Структура содержательного описания процесса

Таким образом, иерархическая содержательная модель включает иерархию подсистем системы и описание каждой подсистемы с помощью классификаторов элементов, их параметров и параметров процесса.

Модели вариантного выбора позволяют на основе иерархической содержательной модели формировать дерево вариантов системы и дерево оптимальных вариантов.

Имеется несколько стратегий формирования альтернативных вариантов и выбора оптимальных решений. Наиболее распространенная стратегия, когда решения принимаются на всех уровнях иерархии "сверху — вниз". Сначала на верхнем уровне иерархии формируются "обобщенные" варианты реализации всей системы в целом и выбирается оптимальный вариант. Этот вариант является ограничением ("рамками") для нижестоящих уровней. Затем аналогичным образом принимаются решения на более низких уровнях. Тем самым выбранный на верхнем уровне вариант как бы уточняется, детализируется на уровне подсистем. Иногда используется более жесткая процедура, когда сама декомпозиция системы (подсистемы) осуществляется только после того, как для нее был выбран оптимальный вариант. На рис. 4.3 приведен пример дерева вариантов.

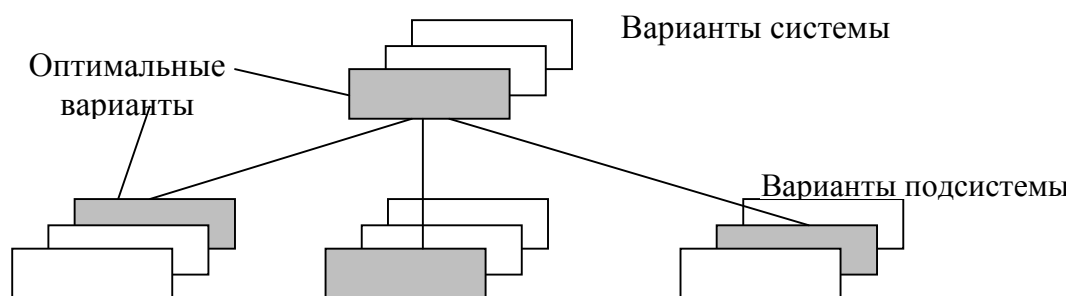


Рис. 4.3. Дерево вариантов системы

Для формирования альтернативных вариантов системы и подсистем могут быть использованы различные методы генерации альтернатив. Можно, например, использовать методику морфологического анализа, которая позволяет генерировать альтернативы путем комбинирования все-

возможных значений различных параметров. Для выбора оптимальных вариантов могут быть использованы методы выбора на основе экспертных оценок.

4.2 Дерево целей

Идея метода «дерева целей» впервые была предложена К. Уэстом Черчменом в связи с проблемами принятия решений в промышленности и основана на получении иерархических структур путем последовательного разделения общей цели на подцели, подцелей — на функции, функций — на более детальные функции [2,3,7].

Процедура формирования иерархии целей в значительной мере является процессом эвристическим и мало формализованным из-за трудностей выявления целей.

Согласно [7] при формировании целей предполагается, что каждой подсистеме (элементу подсистемы), полученной при декомпозиции системы, соответствует своя подцель. При таком подходе можно говорить, что построенное таким образом дерево целей изоморфно соответствующему дереву подсистем (см. рис. 4.4).

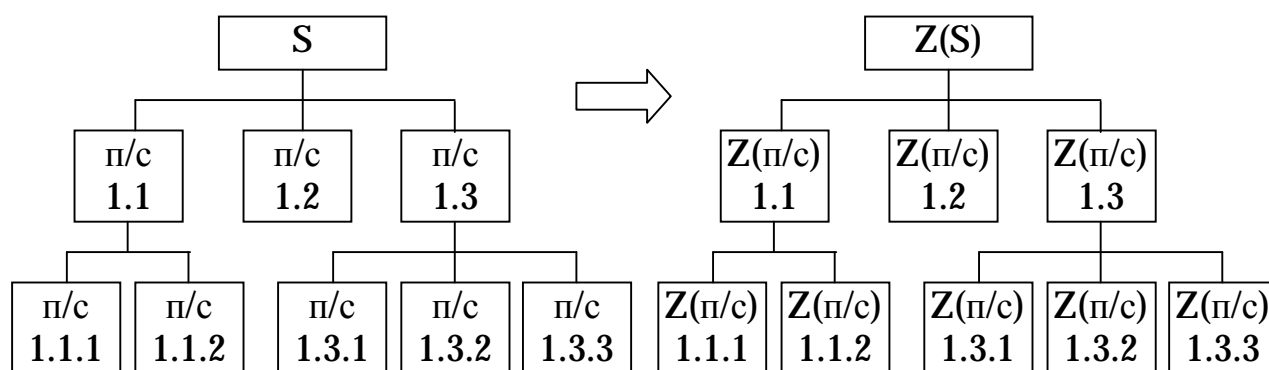


Рис. 4.4. Соответствие иерархии целей иерархии подсистем:

S — декомпозируемая система, п/с — подсистема,

$Z(S)$ — глобальная цель системы, $Z(\text{п/с})$ — цель подсистемы

Для декомпозиции системы будем использовать стандартные модели систем, описанные выше.

При проведении декомпозиции используются следующие принципы [2,3]:

- полноты декомпозиции;
- существенности выделенных в подуровне подсистем, элементов;
- элементарности выделенных элементов;
- произвольной последовательности использования моделей;
- независимости элементов одного уровня.

Принцип полноты декомпозиции реализуется через полноту формальных и материальных структур используемых моделей. Однако использование детальных (подробных) моделей декомпозиции может привести к существенному увеличению размерности задачи. С одной стороны, система должна быть рассмотрена максимально всесторонне и полно, а с другой — полученные результаты должны быть доступны для понимания и анализа. Это противоречие может быть устранено при использовании следующих двух принципов: существенности и элементарности.

При соблюдении понятия существенности в модель включаются только те компоненты, которые существенны (важны) по отношению к цели анализа. Очевидно, что это понятие субъективно и зависит от квалификации эксперта.

«Глубина» разбиения целого на части связана с понятием элементарности. Реализация принципа полноты предполагает продолжение декомпозиции до получения результата, не требующего дальнейшего разложения, т.е. результата простого, понятного, заведомо выполнимого. Такие компоненты разложения будем называть элементарными. В большинстве случаев понятие элементарности также субъективно. Неэлементарные компоненты подлежат дальнейшей декомпозиции по другим моделям декомпозиции. Очевидно, что эффективность работы эксперта, размеры получаемого дерева и, в конечном итоге, качество анализа в определенной

степени зависят от последовательности, в которой эксперт использует имеющиеся модели декомпозиции.

В каждом конкретном случае эксперты должны указывать, какие модели декомпозиции использовать на данном уровне и, если это принципиально, в какой последовательности. Для определения нормативного множества целей управления может использоваться, например, следующая последовательность моделей декомпозиции:

$$\begin{aligned} &<\text{исследуемая система}> \Rightarrow <\text{конечные продукты, ресурсы}> \Rightarrow \\ &\Rightarrow <\text{объект управления}> \Rightarrow <\text{структурные элементы системы}> \Rightarrow \\ &\Rightarrow <\text{функции управления}> \Rightarrow <\text{функции переработки информации}>. \end{aligned}$$

На рис. 4.5 приведен фрагмент дерева целей (одна ветвь) системы организационно-технологического типа [3].

Формальная процедура построения дерева целей включает следующие основные шаги:

Выбор очередного объекта декомпозиции. На начальном шаге в качестве такого объекта берется система в целом. На последующих шагах берутся получаемые подсистемы, элементы.

Выбор стандартной модели декомпозиции.



Рис. 4.5. Фрагмент дерева целей

Проверка элементов модели на существенность. Несущественные подсистемы, элементы отбрасываются.

Проведение декомпозиции объекта.

Формирование целей для полученных подсистем, элементов.

Проверка полученных подсистем (элементов) на элементарность. Если подсистемы (элементы) элементарны, то они далее не декомпозируются. Иначе — переход на шаг 1.

В качестве примера рассмотрим фрагмент построения «дерева целей» для определения множества задач управления учебной деятельностью в вузе (рис.4.6) [2].

Первый уровень декомпозиции производится с использованием классификатора «конечных продуктов учебной деятельности вуза», следующий уровень раскрывает модель состава «элементов внешней среды».

И, наконец, последующие уровни детализируются с использованием моделей декомпозиции типа «жизненный цикл»: <объект управления, системы управления> и <системы переработки информации>.

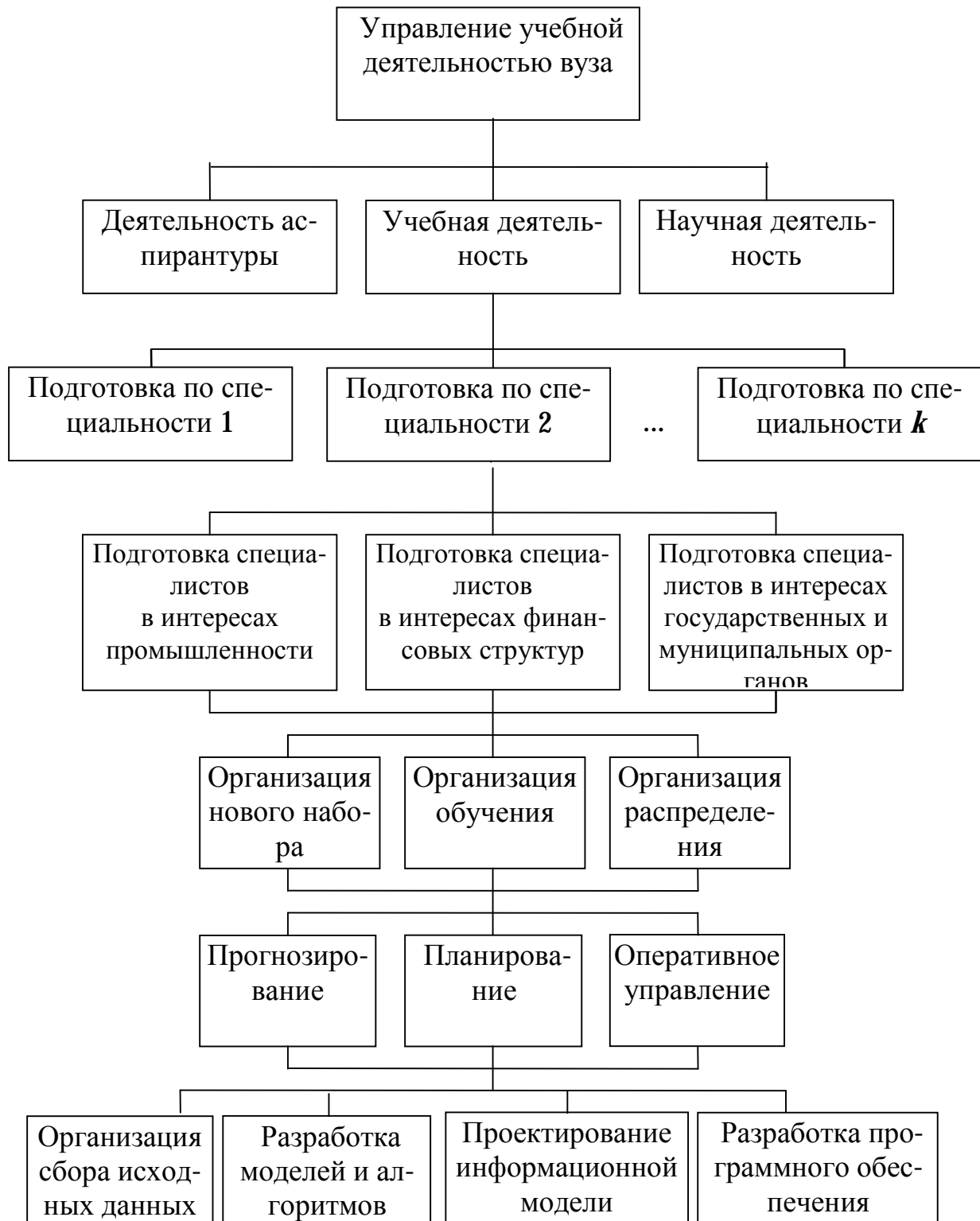


Рис. 4.6. Фрагмент «дерева целей»

4.3 Метод формирования задач управления

Будем рассматривать формирование комплекса задач управления в трех взаимосвязанных аспектах [2]:

- 1) как совокупности методов и средств реализации функций переработки управленческой информации;
- 2) как определенной последовательности операций по изменению форм и свойств информационных конечных продуктов системы;
- 3) как описание организационного регламента деятельности аппарата управления по реализации конечных продуктов системы управления.

При анализе любой системы будем выделять конечные продукты, производимые объектом управления (материальные, финансовые, информационные) и производимые системой управления (как правило, информационные).

Множество конечных продуктов объекта управления определяется его целями и функциональными особенностями. Множество конечных продуктов системы управления ориентировано на информационное отображение управленческих решений и включает в себя следующие продукты деятельности: постановления, решения, приказы, распоряжения, отчеты, справки, сведения, предложения, программы, планы, планы мероприятий. Информационные конечные продукты являются информационными ресурсами для производства материальных конечных продуктов системы.

Для каждого конечного продукта характерно наличие собственного жизненного цикла существования. При этом под жизненным циклом будем понимать определенную последовательность изменения формы и свойств конечных продуктов, начиная от их возникновения и заканчивая потреблением.

Для материальных конечных продуктов в качестве основных этапов жизненного цикла можно выделить следующие этапы: выявление потреб-

ности, подготовка, производство, испытание, реализация, сопровождение, модернизация, утилизация.

Информационные конечные продукты характеризуются жизненными циклами управления и переработки информации. Жизненный цикл управления включает в себя следующие этапы: прогнозирование, планирование, контроль, анализ, регулирование. Жизненный цикл переработки информации включает следующие этапы (функции): регистрация, сбор, передача, обработка, отображение, хранение, защита, уничтожение.

При формировании множества задач управления производством некоторого конечного продукта необходимо для каждого этапа жизненного цикла конечного продукта рассмотреть все этапы жизненного цикла управления, а для этапов управления необходимо рассмотреть все функции жизненного цикла переработки информации (см. рис. 4.7) [2].

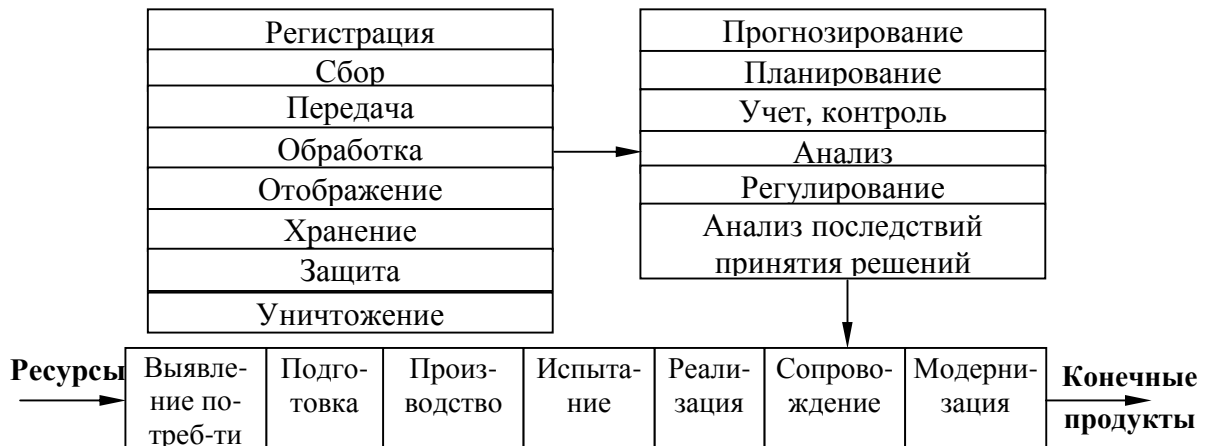


Рис. 4.7. Схема взаимодействия основных этапов жизненных циклов конечных продуктов, управления и переработки информации

Пусть $P = \{p_i\}$, $Z = \{z_j\}$, $X = \{x_k\}$ — множество этапов жизненного цикла получения конечных продуктов, управления и переработки информации соответственно [2]. Последовательно сопоставляя элементы множества P и Z , сначала сформулируем множество задач управления по выпуску продуктов системы:

$$PZ = \langle p_i z_j \rangle = \langle p_1 z_1, p_1 z_2, p_1 z_3, \dots, p_i z_j, \dots \rangle.$$

Затем, сопоставляя множество задач PZ и множество функций X , определим множество функций переработки информации для реализации каждой из задач управления:

$$PZX = \langle p_i z_j x_k \rangle.$$

Очевидно, что для детализации задач управления можно использовать помимо указанных этапов жизненных циклов и другие признаки. Например, можно рассмотреть для каждого этапа жизненного цикла конечного продукта технологические операции либо рассмотреть структурные элементы для каждого этапа (предметы деятельности, средства деятельности, кадры, технологию).

В качестве примера рассмотрим модель выбора задач управления при организации работы кафедры учебного заведения [2].

Будем считать, что множество элементов P составляют этапы: p_1 - организация нового набора, p_2 - организация обучения, p_3 - организация распределения. Множество Z состоит из элементов: z_1 - прогнозирование, z_2 - планирование, z_3 - оперативное управление, а множество X — из элементов: x_1 - сбор информации, x_2 - обработка информации, x_3 - хранение информации, x_4 - защита информации.

В этом случае множество задач управления для этапа p_1 может быть сформировано следующим образом:

- $p_1 z_1$ — прогнозирование нового набора;
- $p_1 z_2$ — планирование нового набора;
- $p_1 z_3$ — оперативное управление работой приемной комиссии.

Аналогичным образом может быть расписано и множество задач для этапов p_2 и p_3 . Например, $p_2 z_1$ — прогнозирование процесса обучения.

Для детализации этапа p_2 представим процесс обучения в виде основных структурных элементов: p_2^I — преподаватели, p_2^{II} — обучаемые, p_2^{III} — материальная база учебного процесса, p_2^{IV} — технология обучения. В этом случае задачи множества $\langle p_2 z_1 \rangle$ могут быть представлены в виде:

- $p_2^I z_1$ — прогнозирование потребности в кадрах;
- $p_2^{II} z_1$ — прогнозирование потребности в учебно-методической литературе;
- $p_2^{III} z_1$ — прогнозирование развития материально-технической базы учебного процесса;
- $p_2^{IV} z_1$ — прогнозирование методов и средств (технологий) организации учебного процесса.

Множество задач управления для $\langle p_1 z_1 \rangle$ — «прогнозирование нового набора» — включает следующие задачи:

- $p_1 z_1 x_1$ — разработка системы сбора исходной информации о потребности в специалистах, наличии абитуриентов, возможностях учебного заведения;
- $p_1 z_1 x_2$ — разработка и реализация алгоритмов прогнозирования;
- $p_1 z_1 x_3$ — разработка концептуальной, логической и физической структур базы данных;
- $p_1 z_1 x_4$ — разработка механизмов защиты информации от несанкционированного доступа.

Очевидно, что процесс формирования задач управления может выполняться в другой последовательности.

Предложенная схема позволяет сформировать последовательность управленческих действий по получению информационных конечных продуктов системы, а также перейти к проектированию математических, технических и информационно-программных методов и средств по реализации необходимых этапов жизненного цикла переработки информации при

решении функциональных задач управления относительно каждого этапа жизненного цикла материальных конечных продуктов.

4.4 Методология IDEF0

IDEF0 является наиболее удобной и распространенной методикой моделирования бизнес-процессов. Данная методология была предложена более 20 лет назад Дугласом Россом и первоначально называлась SADT — **Structured Analysis and Design Technique**. ("Методология структурного анализа и проектирования»). В начале 70-х годов вооруженные силы США применили подмножество SADT, касающееся моделирования процессов, для реализации проектов в рамках программы ICAM (**Integrated Computer-Aided Manufacturing**). В дальнейшем это подмножество SADT было принято в качестве федерального стандарта США под наименованием IDEF0.

В IDEF0 система представляется как совокупность взаимодействующих работ или функций. Такая чисто функциональная ориентация является принципиальной — функции системы анализируются независимо от объектов, которыми они оперируют. Это позволяет более четко смоделировать логику и взаимодействие процессов организации.

Под моделью в IDEF0 понимают описание системы (текстовое и графическое), которое должно дать ответ на некоторые заранее определенные вопросы.

Процесс моделирования какой-либо системы в IDEF0 начинается с определения контекста, т. е. наиболее абстрактного уровня описания системы в целом. В контекст входит определение субъекта моделирования, цели и точки зрения на модель.

Под субъектом понимается сама система, при этом необходимо точно установить, что входит в систему, а что лежит за ее пределами, другими словами, мы должны определить, что мы будем в дальнейшем рассматривать как компоненты системы, а что — как внешнее воздействие. На опре-

деление субъекта системы будет существенно влиять позиция, с которой рассматривается система, и цель моделирования — вопросы, на которые построенная модель должна дать ответ. Другими словами, первоначально необходимо определить рамки модели. Описание рамок как системы в целом, так и ее компонентов является основой построения модели. Хотя предполагается, что в течение моделирования она может корректироваться, она должна быть в основном сформулирована изначально, поскольку именно рамки системы определяют направление моделирования, и момент, когда модель должна быть закончена. При формулировании рамок системы необходимо учитывать два компонента — широту и глубину. Широта подразумевает определение границ модели — мы определяем, что будет рассматриваться внутри системы, а что снаружи. Глубина определяет, на каком уровне детализации модель является завершенной. При определении глубины системы необходимо не забывать об ограничениях времени — трудоемкость построения модели растет в геометрической прогрессии от глубины декомпозиции. После определения границ модели предполагается, что новые объекты не должны вноситься в моделируемую систему; поскольку все объекты модели взаимосвязаны, внесение нового объекта может быть не просто арифметической добавкой, но в состоянии изменить существующие взаимосвязи. Внесение таких изменений в готовую модель является, как правило, очень трудоемким процессом.

Для правильного построения **IDEF0** модели необходимо первоначально определить цель, точку зрения и границы модели.

Под целью здесь понимается совокупность вопросов, на которые должна ответить модель. Цель должна отвечать на следующие вопросы:

Почему этот процесс должен быть замоделирован?

Что должна показывать модель?

Что может получить читатель?

Формулировка цели позволяет команде аналитиков сфокусировать усилия в нужном направлении. Примерами формулировок цели могут быть следующие утверждения:

"Идентифицировать и определить текущие проблемы, сделать возможным анализ потенциальных улучшений";

"Идентифицировать роли и ответственность служащих для написания должностных инструкций";

"Описать функциональность предприятия с целью написания спецификаций информационной системы" и т. д

Под точкой зрения понимается ракурс, относительно которого описывается система. Хотя при построении модели учитываются мнения различных людей, модель должна строиться с единой точки зрения. Точку зрения можно представить как взгляд человека, который видит систему в нужном для моделирования аспекте. Точка зрения должна соответствовать цели моделирования. Очевидно, что описание работы предприятия с точки зрения финансиста и технолога будет выглядеть совершенно по-разному, поэтому в течение моделирования важно оставаться на выбранной точке зрения. Как правило, выбирается точка зрения человека, ответственного за моделируемую работу в целом.

Только после определения этих трех элементов можно закладывать основу для построения модели.

Основной конструкцией модели является функциональный блок, представляющий собой некоторый процесс или, в терминологии SADT, "активность" (*activity*). Выделяются также наборы различных объектов ("предметов"), связанных с активностями в четырех возможных отношениях — "Вход" (*input*), "Выход" (*output*), "Управление" (*control*) и "Механизм" (*mechanism*).

"Входы" отображают объекты, которые функциональный блок преобразует в "Выходы" (например, входную информацию в выходную). При

описании технологических процессов не возникает проблем определения входов. Например, *"Сырье"* — это нечто, что перерабатывается в процессе *"Изготовление изделия"* для получения готового изделия. Сложности возникают при моделировании информационных систем, когда входами являются не физические объекты, а данные. Например, при выполнении функции *"Прием пациента"* карта пациента может быть и на входе, и на выходе, причем качество этих данных меняется. Для того, чтобы соответствовать своему назначению, стрелки входа и выхода должны быть точно определены, чтобы указать на то, что данные действительно были переработаны (например, на выходе — *"Заполненная карта пациента"*). Очень часто сложно определить, являются ли данные входом или управлением. В этом случае подсказкой может служить то, перерабатываются(изменяются) ли данные в работе или нет. Если изменяются, то скорее всего это вход, если нет — управление.

"Управление" определяет, когда и как это преобразование может или должно произойти. Под управлением обычно подразумеваются правила, стратегии, процедуры или стандарты, которыми руководствуется активность. Каждая работа должна иметь хотя бы одну стрелку управления. Стрелка управления рисуется как входящая в верхнюю грань работы. Управление *влияет* на работу, но *не преобразуется* работой. Например, для работы *"Изготовление изделия"* стрелки *"Задание"* и *"Чертеж"* — управление. Если цель работы — изменить процедуру или стратегию, то такая процедура или стратегия будет для работы входом. В случае возникновения неопределенности в статусе стрелки (управление или вход) рекомендуется рисовать стрелку управления.

- "Механизм" (человек, оборудование, автоматизированная система) непосредственно осуществляет преобразование.

Каждое из этих отношений изображается дугой, связанной с определенной стороной блока: левая сторона блока предназначена для входов,

верхняя — для управления, правая — для выходов, нижняя — для механизма.

Диаграмма отдельного функционального блока с входящими и выходящими стрелками, отражающая синтаксис IDEF0, приведена на рис. 4.8.

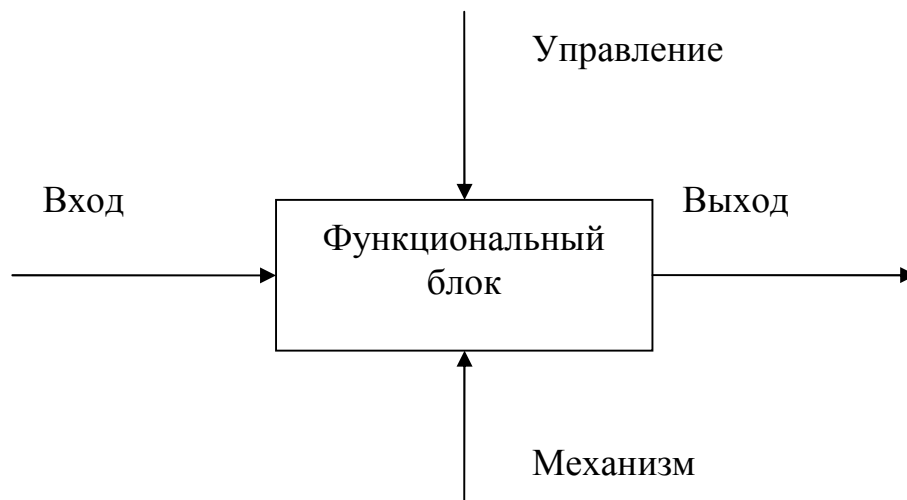


Рис. 4.8. Графическое изображение функционального блока

Построение модели в нотации IDEF0 всегда начинается с построения контекстной диаграммы. При создании модели бизнес-процессов контекстная диаграмма содержит единственную функцию, которая определяет модель в целом. Далее можно проводить декомпозицию диаграммы, где будут содержаться функции, связи между ними и свойства.

Стрелки на контекстной диаграмме служат для описания взаимодействия системы с окружающим миром. Они могут начинаться у границы диаграммы и заканчиваться у работы, или наоборот. Такие стрелки называются *граничными*.

Каждый функциональный блок может быть декомпозирован, т.е. представлен в виде совокупности других взаимосвязанных функциональных блоков, которые детально описывают исходный блок. Таким образом, модель SADT состоит из набора иерархически связанных диаграмм (см. рис. 4.9). Каждая диаграмма обычно содержит 3 — 5 блоков, размещаемых

по "ступенчатой" схеме в соответствии с их доминированием, которое понимается как влияние, оказываемое одним блоком на другие.

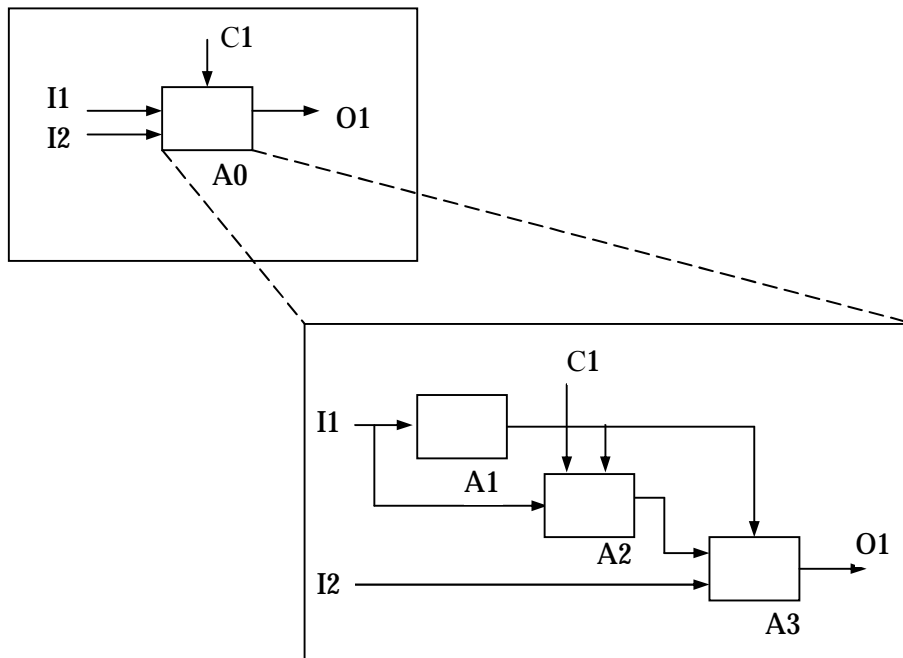


Рис. 4.9. Иерархия диаграмм SADT-модели

Как уже было сказано, построение IDEF0 модели начинается с представления всей системы в виде простейшей компоненты — одного блока и дуг, изображающих интерфейсы с внешним окружением. Например, на рис 4.9 блок на диаграмме верхнего уровня имеет 4 внешних дуги — I1, I2, C1, O1. Для обозначения внешних дуг используются буквы: I (Input — вход), C (Control — управление), O (Output — выход) и M (Mechanism — механизм).

Затем блок, который представляет систему в целом, детализируется на другой диаграмме с помощью нескольких блоков-подмодулей, соединенных интерфейсными дугами. Каждый из этих подмодулей может быть декомпозирован подобным же образом для более детального представления.

Для того, чтобы указать положение любой диаграммы или блока в иерархии, используются номера узлов. Диаграмма верхнего уровня всегда обозначается A-0. Затем она детализируется диаграммой A0, которая

включает несколько блоков, каждый из которых может быть детализирован на диаграммах нижних уровней. Например, блок 2 на диаграмме A0 может быть детализирован диаграммой A2, в свою очередь, каждый из блоков этой диаграммы может быть детализирован диаграммами A11, A12, Аналогично блок 2 на диаграмме A0 детализируется диаграммами A21, A22, ... и т.д.

Дуги связывают различные функциональные блоки вместе и отображают взаимодействие и взаимное влияние блоков. Взаимовлияние может выражаться либо в передаче выхода одного блока на вход другого для дальнейшего преобразования, либо в выработке управляющей информации, предписывающей, что должна делать другая активность. Дуги могут отображать и отношения обратной связи. Дуги с одним свободным концом имеют источник или получатель вне диаграммы (I1, I2, C1, O1 на рис. 4.9). Они должны соответствовать дугам на исходной диаграмме.

Нужно подчеркнуть, что дуги — это не потоки и не последовательности. Они представляют собой ограничения на работу блока в том смысле, что функция не может быть выполнена, пока не станут доступными данные или объекты, соответствующие входящим дугам. Таким образом, ни последовательность выполнения функций, ни время не указаны явно на SADT-диаграммах.

Дуги могут разветвляться и соединяться различным образом. Каждая из ветвей может представлять один и тот же объект или различные объекты одного и того же типа. Метки указывают назначение дуг.

Рассмотрим для примера, как можно представить в виде SADT-диаграммы описание бизнес-процесса «Продажа заказного продукта» [10].

На исходной диаграмме верхнего уровня A-0 процесс представляется в виде одного блока и дуг, изображающих его взаимодействие с внешним окружением (см. рис. 4.10).

Входящие дуги отражают объекты, которые поступают извне и необходимы для выполнения процесса. В частности, от клиента поступает информация о заказываемом продукте, а также деньги для оплаты продукта. Кроме того, для выполнения заказа необходимы некоторые материалы и детали, из которых производится продукт. Дуги механизма отражают исполнителей, участвующих в процессе — Продавец, Проектировщик и Отправитель, а также объекты, с помощью которых выполняется процесс — Оборудование и Транспорт. Выходящая дуга — это результат выполнения процесса, представляющий собой доставленный клиенту заказанный продукт.

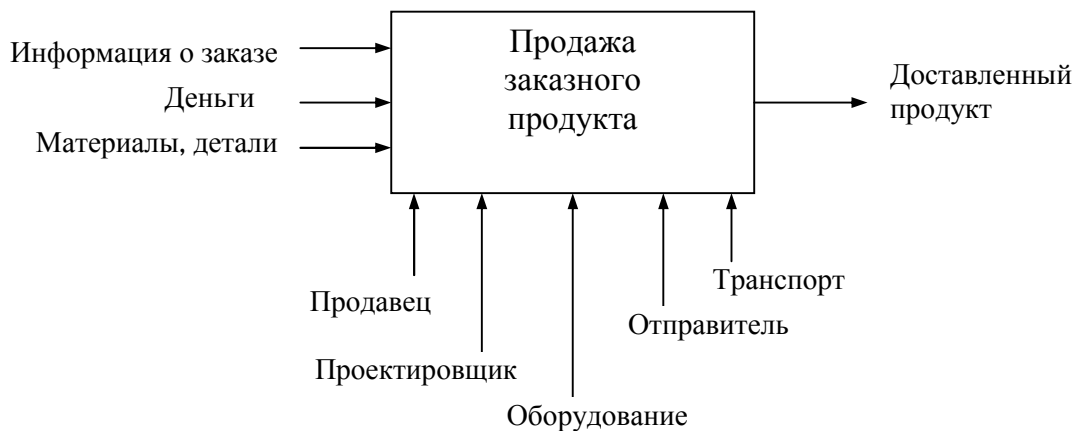


Рис. 4.10. Диаграмма «Продажа заказного продукта»

Далее процесс декомпозируется на подблоки, соответствующие основным шагам — «Получить заказ клиента», «Выполнить заказ», «Получить оплату заказа» и «Отправить заказ клиенту». Соответствующая диаграмма представлена на рисунке 4.11.

Для **блока 1** — «Получить заказ клиента» — входом является «информация о заказе», получаемая от клиента. Этому входу соответствует дуга П1, которая переносится с родительской диаграммы. Выходом является «заказ», содержащий «описание продукта» (передается блоку «Выполнить заказ») и «адрес клиента» (передается блоку «Отправить заказ клиенту»).

ту»). Механизмом является дуга **М1** — «продавец», который обеспечивает исполнение блока.

Для **блока 2** — «Выполнить заказ» — дуга «описание продукта» является управляющей, т.к. она предписывает, каким образом должно происходить выполнение заказа. Входом являются «материалы, детали», используемые при производстве продукта, а выходом — «готовый продукт» (передается блоку «Отправить заказ клиенту»). Кроме того, выходом является «информация о выполнении заказа», которая передается блоку «Получить оплату заказа» в качестве управляющего сигнала. Механизм блока представлен дугами «проектировщик» и «оборудование».

Для **блока 3** — «Получить оплату заказа» — входом являются «деньги», получаемые от клиента. Этому входу соответствует дуга **I3**, которая переносится с родительской диаграммы. Выходом является «информация об оплате», которая передается блоку «Отправить заказ клиенту» в качестве управляющего сигнала. Механизмом является дуга **М1** — «продавец», который обеспечивает исполнение блока.

Для **блока 4** — «Отправить заказ клиенту» — входом является «готовый продукт», управляющим входом — «информация об оплате». Выходом является «доставленный продукт», который является выходом всего процесса. Механизмом являются дуги «отправитель» и «транспорт»

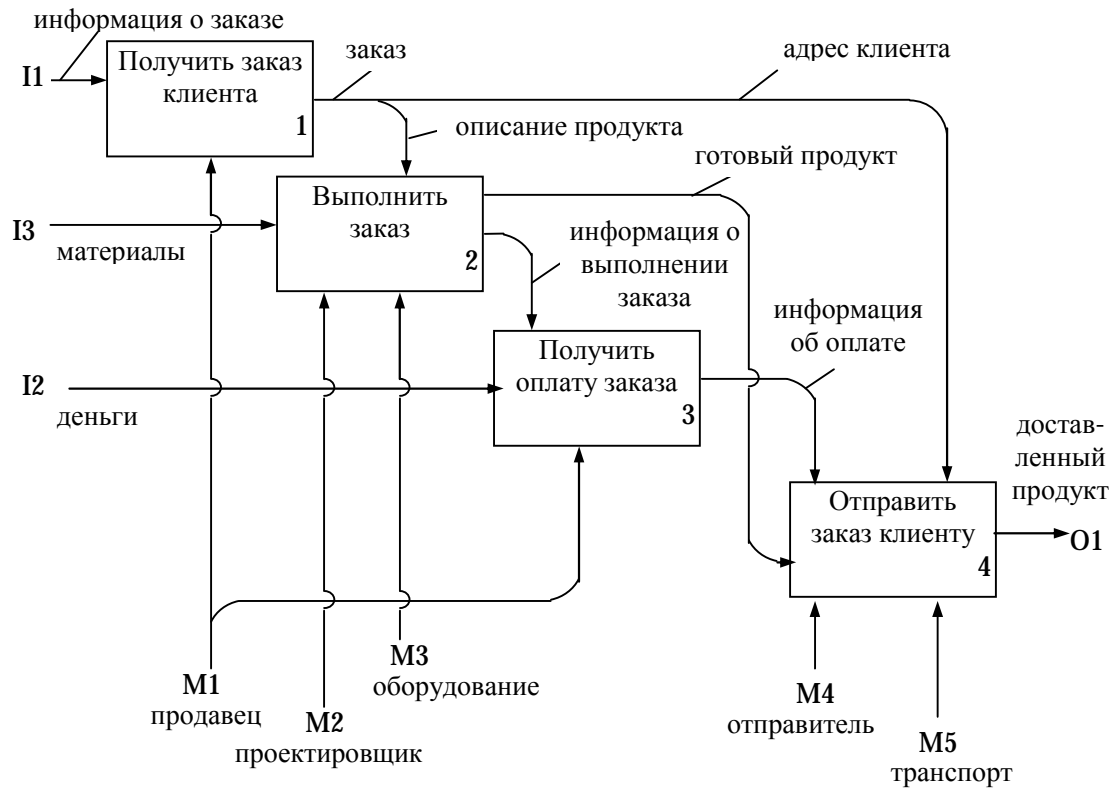


Рис. 4.11. Декомпозиция основного блока «Продажа заказного продукта»

4.5 Методология IDEF3

IDEF3 дополняет моделирование IDEF0 и получает все большее признание как жизнеспособный способ разработки моделей.

IDEF3 — это методика описания процессов. Основная цель данной методики — предоставить структурированный метод, с помощью которого эксперт предметной области сможет описать её функционирование как упорядоченную последовательность событий, а также описать каждый участвующий объект.

Методика описания набора данных IDEF3 является частью структурного анализа. В отличие от некоторых методик описаний процессов, IDEF3 не ограничивает аналитика чрезмерно жесткими рамками синтаксиса, что может привести к созданию неполных или противоречивых моделей.

Бизнес сценарий — основная организационная структура в модели IDEF3, которая намечает в общих чертах последовательность действий или

процессов. Поскольку сценарий описывает предназначение и границы модели, важно, чтобы основная функция была названа подходящим образом. Она может быть названа следующим образом

С помощью глагола: Проверять, Обследовать, Утвердить.

С помощью отглагольного существительного: Обследование, Размораживание, Модифицирование.

С помощью глагола с прямым дополнением, т.е. глагольной фразой. Например, Обработать заказ, Проверить счет, Окрасить деталь.

Существуют два типа диаграмм в IDEF3, представляющие описание одного и того же сценария технологического процесса в разных ракурсах:

Диаграммы Описания Последовательности Этапов Процесса (*Process Flow Description Diagrams, PFDD*),

Диаграммы Состояния Объекта и его Трансформаций в Процессе (*Object State Transition Network, OSTN*).

Точка зрения на модель должна быть задокументирована.

В случае PFDD диаграмм — это точка зрения человека, ответственного за работу в целом. В случае OSTN диаграммы сценарий составляется с точки зрения объекта, участвующего в технологическом процессе.

Также необходимо задокументировать цель модели — те вопросы, на которые призвана ответить модель, а также границы, описывающие, что включено или исключено из модели.

Ниже приведены описания объектов, которые определяют бизнес-процесс в модели IDEF3, с точки зрения синтаксиса и семантики.

Как и в любой методике моделирования процессов, так и в методике IDEF3, *диаграмма* — это основная единица модели. При составлении диаграмм в IDEF3 очень важным моментом является то, что модель будет опубликована или ее будут читать другие люди. В этом случае разработчик должен составлять диаграмму таким образом, чтобы она была исчерпывающей и понятной читателю.

Как и во всех методиках моделирования процессов, *функция*, так же называемая единицей работы (*ЕД, Unit of work*), является центральным компонентом модели. На диаграмме IDEF3 функция изображается в виде блока с прямыми углами. Определяется функция глаголом или отглагольной фразой (глагол плюс прямое дополнение), и уникальным числовым идентификатором.

Существительная часть глагольной фразы является прямым дополнением глагола. Обычно эта часть описывает:

Основной вход функции, например, **Собрать Данные**

Основной выход функции, например, **Писать Книгу**

Название системы, например, **Сеть магазинов.**

Иногда существительное заменяется во время последующих этапов моделирования, потому что находится другое, более подходящее существительное, или глагол может быть заменен на другой, с более точной формулировкой.

Когда функция создается впервые, ей дается уникальный номер. Даже если функция в последствии будет удалена, этот номер не будет каким-либо образом переопределен.

На рисунке 4.12 приведен пример графического описания функции в данной нотации.

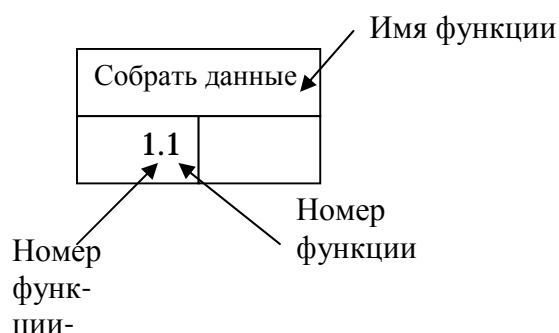


Рис 4.12. Изображение функции в IDEF3

Соединения (*links*) указывают значительные вынужденные связи между функциями. Все соединения в IDEF3 являются односторонними.

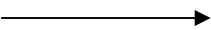
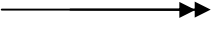
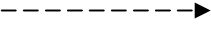
Несмотря на то, что стрелка может выходить или заканчиваться на любой стороне блока, соответствующего функции, диаграммы **IDEF3** обычно составляются слева направо, в этом случае соединения обычно выходят из правой стороны и заканчиваются в левой стороне блоков функций.

Различают три типа соединений

- 1 Соединение предшествования
- 2 Перетекание объекта
- 3 Относительное соединение

В таблице 4.1 приведено описание всех типов соединений.

Таблица 4.1 — Типы соединений в **IDEF3**

Тип связи	Графическое изображение	Описание
Соединение предшествования		Предшествующая функция должна быть закончена прежде, чем последующая функция будет начата
Перетекание объекта		Выход предшествующей функции является входом последующей функции. Это означает, предшествующая функция должна быть закончена, прежде чем последующая функция будет начата
Относительное соединение		Ограничение связи между предшествующей и последующей функциями должно быть определено пользователем для каждого экземпляра относительного соединения

Соединение предшествования.

Данный тип соединения называется также соединением временного предшествования. Как подразумевает название, это означает, что предшествующая функция должна быть закончена, прежде чем последующая сможет начаться. В диаграммах IDEF3 соединение предшествования изображается в виде стрелки, которая исходит из предшествующей функции и указывает на последующую функцию. Соединение обязательно должно содержать метку (имя), чтобы можно было понять детали соединения. Во многих случаях выполнение одной функции позволяет или инициирует активацию другой, что показано на рисунке 4.13.



Рис 4.13. Соединение предшествования

Здесь функция «Составление плана мероприятий» является предшествующей по отношению функции «Внедрение плана мероприятий». Это означает, что внедрение плана возможно только в том случае, если на предшествующем этапе данный план был составлен.

Перетекание объекта.

Одной из основных причин для использования соединения временного предшествования между двумя функциями является то, что какой-то объект, произведенный начальной функцией необходим для конечной функции. Соединение перетекания объекта графически отличается от соединения временного предшествования двумя указателями у стрелки. Эти соединения должны быть именованы, чтобы ясно показать объект, перетекающий через это соединение. У соединения перетекания объекта такая же временная семантика, что и у соединения предшествования, т.е. функция

из которой выходит соединение перетекания объекта, должна быть закончена для того, чтобы функция, на которую указывает соединение, могла начаться, как показано на рис 4.14.



Рис. 4.14 — Перетекание объекта

В этом примере собранная деталь является объектом, произведенным предшествующей функцией. Он должен быть собран перед тем, как его можно будет покрасить.

Относительное соединение.

Относительные соединения означают связи, которые не могут быть определены ни как соединения временного предшествования, ни как соединения перетекания объекта. Смысл каждого относительного соединения должен быть определен, потому что относительное соединение само по себе не накладывает никаких ограничений, в отличие от вышеописанных соединений двух типов.

Относительные соединения могут также быть использованы для обозначения связей между параллельными функциями. На рисунке 4.15 изображен процесс запуска компьютера в виде двух функций, объединенных относительным соединением.

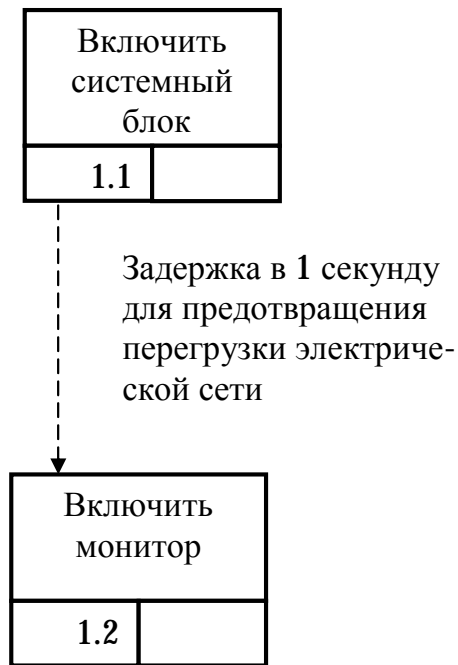


Рис 4.15 — Относительное соединение

Функция включения монитора — последующая относительно функции включения системного блока. Ввиду того, что одновременное включение двух устройств может вызвать перегрузку электрической сети, они должны включаться с некоторым временным интервалом. На данном рисунке показано, что монитор должен быть включен не ранее чем, через 1 секунду после включения системного блока.

Обычно относительное соединение используют для описания особых случаев соединения временного предшествования, например альтернативные временные связи между функциями. На рисунке 4.16 изображено типичное соединение временного предшествования.

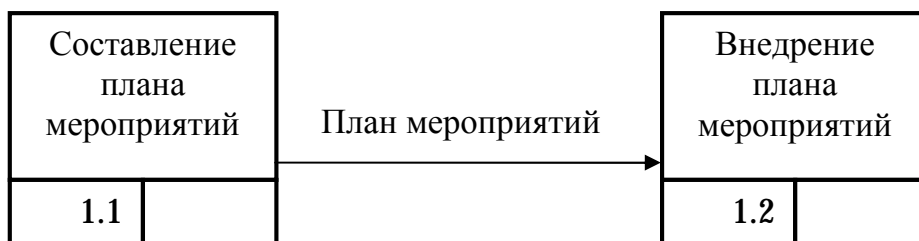


Рис 4.16. Соединение временного предшествования

На рисунке 4.17 показано взаимодействие функций в плане времени начала и завершения каждой из них. Вертикальные линии на этом рисунке

показывают моменты времени начала и завершения каждой функции. A1.1 — это условное имя предшествующей функции, а A1.2 — условное имя последующей функции. В примере, изображенном на рисунке 4.17, функция A1.2 начинает выполняться только после того, как завершено выполнение функции A1.1.



Рис 4.17. Временная зависимость соединения
временного предшествования

Рассмотрим пример временной зависимости функций, связанных относительным соединением, изображенным на рисунке 4.18.

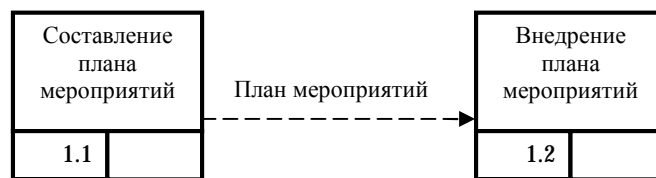


Рис 4.18. Относительное соединение

На рисунке 4.19 показана альтернативная временная зависимость между двумя функциями, изображенными на рисунке 4.19.



Рис 4.19 Альтернативная временная зависимость относительного соединения

В этом примере, внедрение плана мероприятий может быть начато до того, как полностью завершится составление плана мероприятий.

При составлении диаграмм, содержащих относительные соединения, необходимо четко задокументировать временную зависимость между двумя функциями, связанными таким соединением. Еще один возможный вариант временной зависимости показан на рис 4.20.



Рис 4.20 Альтернативная временная зависимость
относительного соединения

Как и в предыдущем примере, внедрение плана мероприятий начнется только после начала составления плана мероприятий. Однако, внедрение плана мероприятий завершится ранее, чем завершится составление плана.

Обратите внимание, что именно такая временная зависимость, скорее всего, лишена смысла. Действительно, нельзя полностью внедрить план мероприятий до того, как он будет полностью составлен.

Описанные временные зависимости возможны, и правильная их интерпретация должна быть четко задокументирована. Важно подчеркнуть, что в этом случае *правильный* означает интерпретацию, которая точно отражает документируемую ситуацию, а не интерпретацию, которая по мнению аналитика приведет к более эффективному процессу.

Junctions/

Завершение одной функции может допускать начало выполнения нескольких функций. Либо некоторой функции для начала её выполнения придется ждать, пока несколько функций не будут закончены. Узлы (*junctions*) либо разъединяют, либо собирают воедино протекание процесса, и

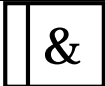
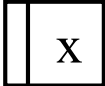
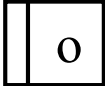
используются для описания ветвления процесса. Различают два типа ветвления

Ветвление по выходу разветвляет протекание процесса. Завершение одной функции приводит к активации нескольких других функций.

Слияние по входу объединяет протекание процесса. Завершение одной или более функций приводит к активации одной функции.

В таблице 4.2 приведено описание различных типов узлов и ветвлений.

Таблица 4.2 Описание узлов и ветвлений

Графическое изображение	Тип узла	Тип ветвления	Описание
	AND	Ветвление по выходу	Каждая функция, исходящая из узла, обязательно активизируется
		Слияние по входу	Каждая функция, входящая в узел, обязательно должна быть завершена
	Exclusive OR	Ветвление по выходу	Активизируется одна, и только одна функция, исходящая из узла
		Слияние по входу	Одна, и только одна функция, входящая в узел, должна быть завершена
	OR	Ветвление по выходу	Активизируется одна или более функций, исходящих из узла
		Слияние по входу	Одна или более функций, входящих в узел, должны быть завершены

На рисунке 4.21 изображен пример использования узлов с различным типом ветвления. Узлы имеют имена J1 и J2.

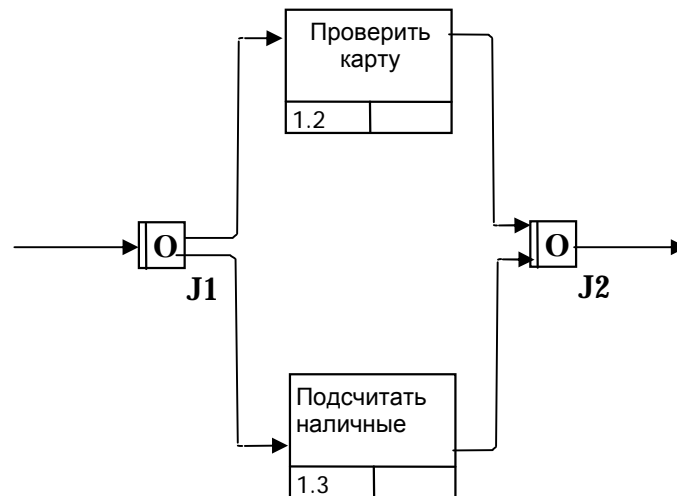


Рис 4.21. Узлы и ветвления

AND узел.

Такой узел всегда будет активизировать каждую исходящую функцию, с которой он связан. Все функции, которые связаны с таким узлом по входу, должны быть завершены, прежде чем последующая функция, связанная с выходом узла, может быть начата. На рис 4.22 описан процесс пожаротушения. После того, как завершится функция Обнаружение огня, будут активированы функции Сигнализация, Оповещение Пожарного Отделения и Начать пожаротушение. И только после завершения всех трех функций активизируется функция Запись о Пожаре.

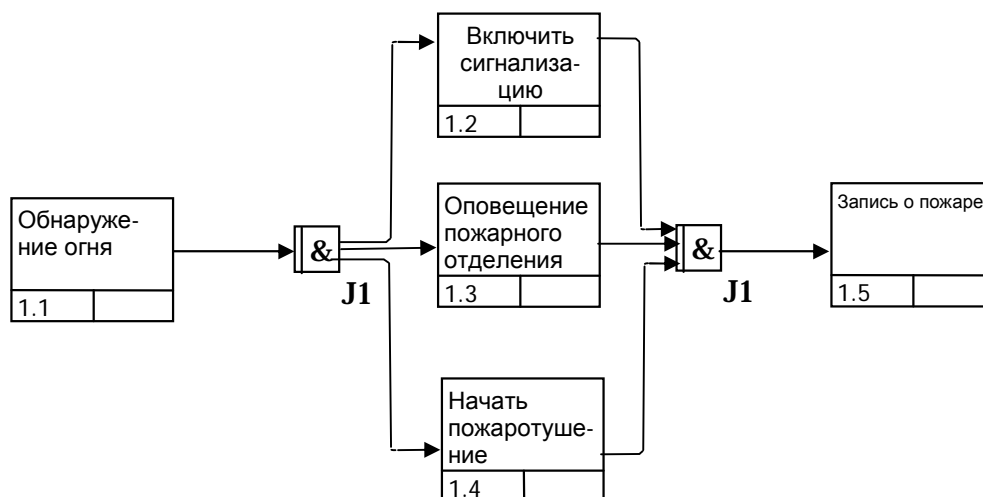


Рис 4.22. Узел AND

Узел «Exclusive OR»

Независимо от количества функций, присоединенных к такому узлу по входу или по выходу, одна, и только одна будет активизирована в любой момент времени. Поэтому, как только одна из функций, соединенных с узлом такого типа, будет закончена, сразу же будет активизирована функция, следующая за узлом.

Если известны правила активации узла, то они должны быть указаны в его описании, либо должна быть подписана стрелка, выходящая из разветвления по выходу, как показано на рис 4.23.

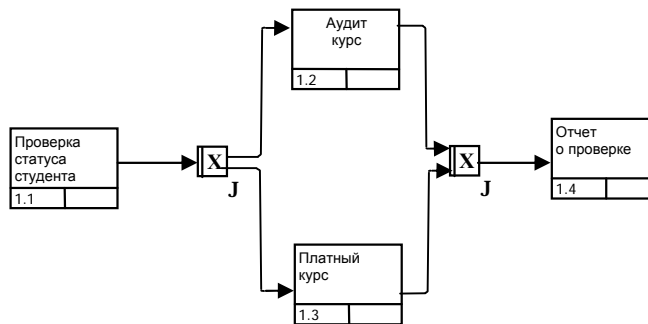


Рис 4.23. Узел «*Exclusive OR*»

На рисунке 4.23 используется узел «Исключающее ИЛИ» чтобы показать, что запуск Аудит Курс и запуск Платный Курс никогда не будут активизированы одновременно. Только одна из этих функций будет активизирована функцией Проверка Статуса Студента, потому что студент может быть либо на платном курсе, либо на аудит курсе, но *никогда* — на обоих сразу.

Узел «OR»

Узел «OR» охватывает комбинации функций, которые не могут быть описаны с помощью «И» (все) и «Исключающее ИЛИ» (только один) узлов. Как и относительное соединение, узел «ИЛИ» обычно определяется пользователем. На рисунке 4.24, «ИЛИ» узел J2 может активизировать функции Проверка Чека и/или Подсчет Наличной Оплаты. Проверка Чека будет активизирована, если клиент даст кассиру чек, Подсчет Наличной

Оплата будет активизирован, если клиент даст кассиру наличные и оба будут активизированы, если клиент даст кассиру и наличные, и чек.

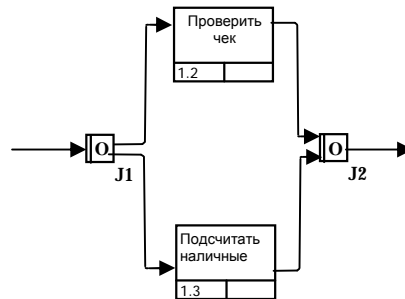
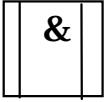
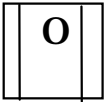


Рис 4.23. Узел «*OR*»

Синхронные и асинхронные узлы.

В примерах узлов «AND» и «OR» не обсуждались связи между началом и завершением функций, активированных разветвлением по выходу. В этих примерах функции были асинхронными — им не надо было начинаться и заканчиваться одновременно. Однако, бывают случаи, когда время старта и/или завершения параллельных функций должны быть синхронны — должны происходить в одно и то же время. Синхронные соединители используются для описания такого поведения. В таблице 4.3 приведены правильные интерпретации для синхронных узлов.

Таблица 4.3 Синхронные узлы

Графическое изображение	Тип узла	Тип ветвления	Описание
	AND	Ветвление по выходу	Все функции, исходящие из узла, начинаются одновременно
		Слияние по входу	Все функции, входящие в узел, завершаются одновременно
	OR	Ветвление по выходу	Поскольку начнется только одна функция, исходящая из узла, то синхронность с другими функциям невозможна.
		Слияние по входу	Поскольку завершится только одна функция, входящая в узел, то синхронность с другими функциям невозможна.

Синхронный узел обозначается двумя вертикальными линиями внутри рамки соответствующего прямоугольника, в отличие от одной вертикальной линии для асинхронного узла. Пример использования синхронного узла приведен на рисунке

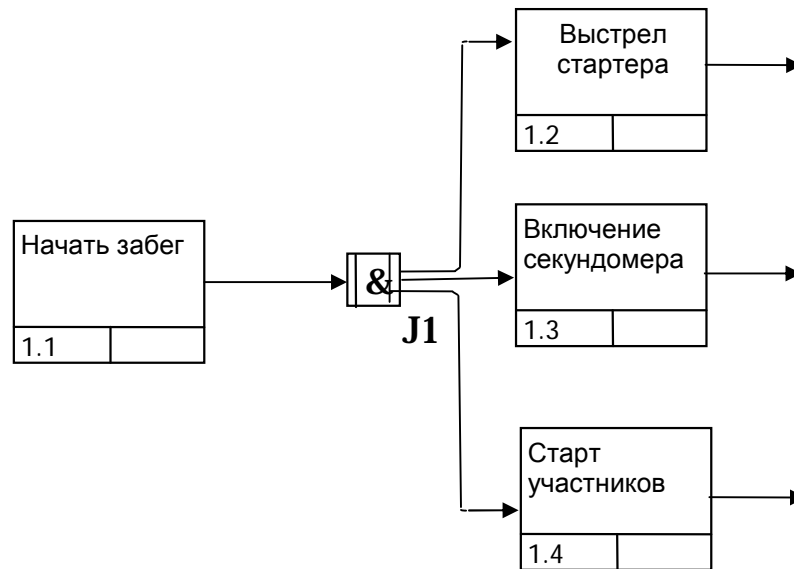


Рис 4.24 — Синхронные узлы

Выстрел стартера, включение секундомера и старт участников должны начаться одновременно. Иначе результаты забега будут недействительными.

5 Прикладные технологии системного анализа

5.1 Технологии разработки информационных систем

К настоящему моменту в области проектирования информационных систем (ИС), называемых также автоматизированными, программными, информационно-вычислительными и т.п., сложилось самостоятельное направление — дисциплина CASE-технологий.

Термин CASE (Computer Aided Software Engineering) означает "компьютерная поддержка проектирования программного обеспечения" и связан с появлением так называемых CASE-средств — программных продуктов нового типа, предназначенных для автоматизации разработки ИС.

CASE-технологии представляют собой совокупность методологий проектирования и сопровождения ИС на всем его жизненном цикле, поддержанную комплексом взаимоувязанных CASE-средств. Основная цель состоит в том, чтобы отделить проектирование информационной системы от кодирования. Разработчику предоставляются удобные автоматизированные графические средства моделирования структуры ИС, заменяющие карандаш и бумагу, а также средства, позволяющие автоматизировать рутинные операции — кодогенерацию, формирование баз данных, конверсию файлов в новые форматы и т.д.

Можно выделить следующие составляющие CASE-технологий — регламент (последовательность этапов проектирования), методология и инструментальные средства поддержки. Рассмотрим регламент технологического процесса проектирования ИС и используемые методологии, обращая особое внимание на использование в них системного подхода.

Последовательность проектирования ИС (регламент).

Регламент — руководящие указания по составу этапов проектирования, их последовательности, правила распределения и использования операций и методов. Нужно отметить, что регламенты различных техноло-

гий проектирования ИС незначительно отличаются друг от друга. Фактически сложилась некоторая типовая последовательность проектирования (ТПП), используемая различными технологиями в той или иной вариации.

Типовая последовательность проектирования и использования ИС сложилась еще в начале 70-х гг. и включает в себя следующие укрупненные этапы, соответствующие этапам жизненного цикла системы:

1. Анализ — определение требований, функций системы.
2. Проектирование — определение подсистем и их интерфейсов.
3. Реализация (программирование) — разработка подсистем и их интерфейсов.
4. Компоновка (интеграция) — соединение подсистем в единое целое.
5. Тестирование (верификация) — проверка работы системы.
6. Внедрение (инсталляция) — введение системы в действие.
7. Эксплуатация — использование системы, сопровождение и анализ опыта эксплуатации.

В разное время и в разных "школах" проектирования разрабатывались более детальные технологии. При этом разбиение работ на этапы и их названия менялись. Соответствующие технологии организации работ рекомендовались официально, фиксировались в стандартах (ГОСТы, ANSI, ISO), описывались в монографиях, учебниках и во многих отраслях широко использовались. Несмотря на все различия предлагаемых технологий можно выделить этапы, общие для большинства методик. В таблице 5.1 приведена такая типовая последовательность этапов проектирования, составленная Е.З. Зиндером [19]. Для сравнения в таблице 5.1 приведена технология SSADM, официально принятая в качестве государственного стандарта Великобритании [20].

Таблица 5.1 — Технологии разработки информационных систем

Технология по Зиндеру	Технология SSADM
Запуск: организация основания для деятельности и запуск работ — договор, задание на выполнение работ	Оценивание реализуемости: предварительное технико-экономическое обоснование проекта
Обследование: предпроектный анализ, общий анализ ситуации, разработка обоснования целесообразности создания ИС	Анализ требований: предпроектное обследование, описание существующей системы
Концепция, Техническое задание: исследование требований, выработка рекомендаций, ТЗ на всю систему и отдельные подсистемы	Выбор варианта автоматизации
Эскизный проект: разработка архитектуры будущей ИС	Разработка технического задания: полностью определяются требования к выбранному варианту ИС, разработка демонстрационного прототипа
Опытный вариант ИС: разработка пилотного проекта будущей ИС, его опытное использование	Выбор варианта технической реализации: выбор технической и программной сред реализации ИС
ТП: Разработка технического проекта ИС	Разработка логического проекта: разработка и увязывание постановок задач, схем диалогового взаимодействия
РП: Разработка рабочей документации проекта	Физическое проектирование: описание данных на физическом уровне, руководящие указания по программированию
Ввод в действие: внедрение ИС	

Создание промышленной информационной технологии SSADM (Structured System Analysis and Design Method), координируемое и финансируемое Государственным агентством по информатике и вычислительной технике Великобритании, началось еще с середины 70-х годов. В 1981 году данная технология была объявлена открытым отраслевым стандартом. В

течение 80-х годов технология SSADM получила широкое распространение сначала в Великобритании, а затем и за ее пределами. Этому способствовало создание CASE-средств поддержки — инструментальных программных средств проектирования. В середине 1993 года технология SSADM была официально принята в качестве государственного стандарта Великобритании [20]. Если состав этапов, их назначение за прошедшие четверть века менялись незначительно, то схема их применения, порядок следования этапов и организация работ менялись кардинально.

Традиционная схема, используемая в 70-е — начало 80-х гг., называемая *каскадной* или водопадной моделью, предполагает строгое детерминированное следование этапов анализа, проектирования, реализации, внедрения и эксплуатации ИС по единому заранее разработанному плану. Положительные стороны данной схемы [19]:

- на каждом этапе формировался законченный набор проектной и пользовательской документации, отвечающий критериям полноты и согласованности, описывающий все предусмотренные стандартами виды обеспечений (информационное, программное, техническое, методическое, организационное);
- логическая последовательность этапов работ позволяла планировать сроки завершения всех работ и соответствующие затраты.

Однако каскадная модель имеет и существенные недостатки:

- "несоответствие требованиям" — согласование с пользователями предусматривалось только по завершению этапов, в результате зачастую разрабатывалась не та ИС, которую хотел заказчик и пользователь;
- "запаздывание" — требования пользователей, а также внешние ограничения быстро меняются и система "устаревала" к моменту завершения работ;

- "не выдерживался план-график выполнения работ, превышались сроки или смета, или и то, и другое.

Существенно сглаживает указанные недостатки другая модель, так называемая *спиральная* или схема непрерывной разработки, получившая распространение в 80-х гг. Характерной особенностью данной модели является непрерывный процесс разработки и развития ИС с планируемыми точками передачи в эксплуатацию новых версий и новых функциональных блоков [19, 20].

Данная схема предполагает создание прототипов, т.е. выполнение нескольких циклов анализа, проектирования и реализации действующих прототипов системы. Каждый виток спирали представляет собой, таким образом, законченный проектный цикл по типу каскадной схемы.

Благодаря прототипированию разработчики добивались от будущих пользователей четкого осознания своих нужд, обеспечивая на каждом витке уточнение требований к ИС. Однако сроки разработки готового продукта при использовании спиральной схемы еще более удлинялись, а затраты существенно возрастали.

Постепенно сложилась некоторая смешанная схема, лежащая где-то посередине между каскадной и спиральной моделями, которую можно назвать "макетной" или схемой "быстрого прототипирования" (**rapid prototyping** или **fast-track**). Последовательность этапов в данной модели внешне выглядит как каскадная, однако содержание технологических этапов таково, что многие проектные решения в процессе разработки ИС подвергаются многократным уточнениям и корректировкам, как это предусмотрено спиральной моделью [20]. Такой компромисс достигается за счет:

- постоянного вовлечения будущих пользователей в процесс разработки решений на всех этапах создания продукта;

- создания на различных этапах разработки ИС вместо законченных прототипов *макетов*, представленных хотя бы и на бумаге, и оперативно проверяемых у пользователей;
- параллельного (хотя бы частично) выполнения этапов и отдельных работ в рамках каждого этапа.

Различия в последовательности проведения основных этапов разработки информационных систем для различных технологий (каскадной, спиральной и макетной) наглядно отображены на рис. 5.1.

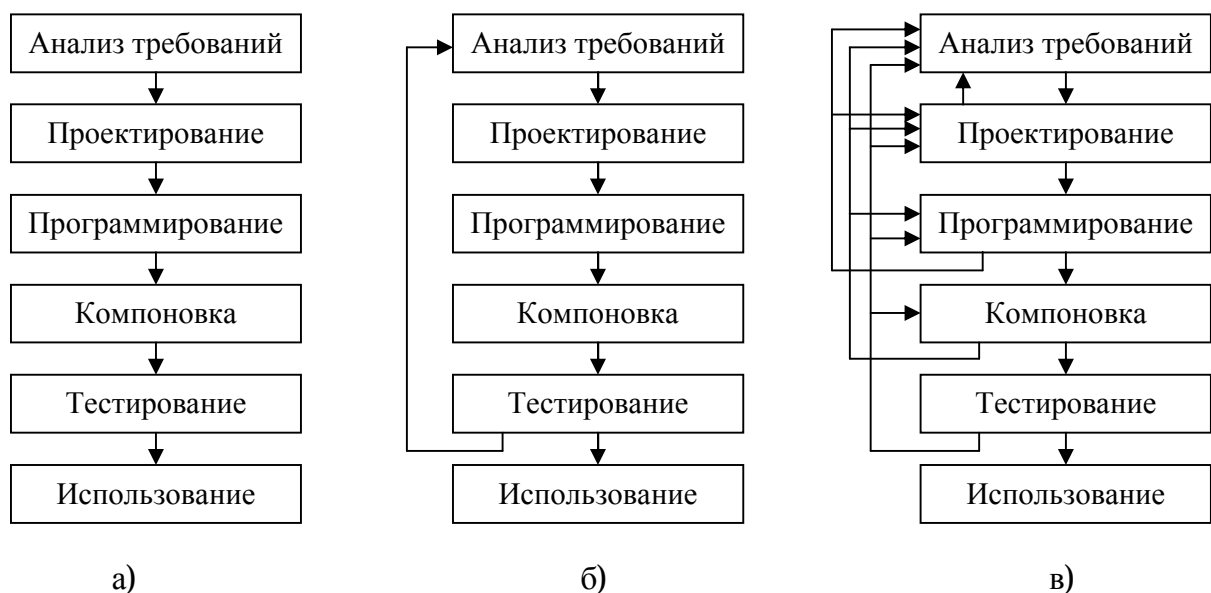


Рис. 5.1. Последовательность разработки информационных систем:
а) каскадная схема; б) спиральная схема; в) макетная схема

Методологии и инструментальные средства проектирования ИС

Методология — это систематическая процедура или техника генерации описаний компонент ИС, таких как функциональная структура, потоки и структуры данных, спецификации, словари и т.д. Каждая методология использует некоторую нотацию — языковые, модельные средства описания компонент — графы, диаграммы, таблицы, блок-схемы, формальные и естественные языки. Как правило, большинство существующих CASE-технологий ориентировано на применение одной или 2-3-х методологий

проектирования, поддерживаемых соответствующими CASE-средствами, зачастую объединенными в интегрированные пакеты.

К настоящему времени разработаны десятки методологий и инструментов проектирования. Перечислим основные функции, выполняемые с помощью CASE-средств [18]:

- формирование функциональной модели информационной системы. Наиболее распространенный метод реализации данной функции — метод **SADT** (технология **IDEF0**), позволяющий описать процесс в ИС в виде иерархии функций, связанных между собой входящими/исходящими потоками (материальными, финансовыми, информационными), управляющими воздействиями, исполнителями;
- формирование информационной модели, в том числе выделение объектов, описание их поведения и связей друг с другом. Наиболее распространенный метод реализации данной функции — метод **IDEF1X**, с помощью которого создается описание информационного пространства выполнения бизнес-процессов, содержащего информационные объекты (сущности), их свойства (атрибуты), отношения с другими объектами (связи);
- формирование архитектуры информационной системы. Наиболее распространенный метод реализации данной функции — **DFD** (**Data Flow Diagrams** — диаграммы потоков данных) — методология структурно- функционального анализа, описывающая внешние по отношению к системе источники и адресаты данных, логические функции, потоки данных и хранилища данных;
- структурирование (моделирование) данных, в том числе создание концептуальной модели структуры базы данных, автоматическая генерация физической модели БД и др. Наибольшее распространение получили: метод построения **ER** (**Entity-Relationship**)-

диаграмм Чена и методология Уорнера-Оппа DSSD (Data Structured Systems Development);

- быстрая разработка приложений (визуальное программирование). Средства, обеспечивающие данную функцию, называются RAD-средствами (Rapid Application Development). Они представляют собой визуальные дизайнеры приложений с автоматической кодогенерацией и позволяют создавать приложения в интерактивном режиме с помощью набора визуальных средств.

5.2 Технология реинжиниринга бизнес-процессов

Понятие "реинжиниринг бизнес-процессов" (BPR — Business process reengineering) возникло примерно в 1990 г. и с тех пор вызывает активный интерес специалистов в области менеджмента и информационных технологий [21]. К настоящему времени по данной проблеме написаны десятки монографий, сотни статей, материалы конференций, проводимых ежегодно. Наиболее известной является книга М. Хаммера и Дж. Чампи "Реинжиниринг корпораций: революция в бизнесе", изданная в 1993 г. В настоящее время BPR взят на вооружение почти всеми ведущими компаниями мира. Все более растущую популярность данная технология приобретает и в нашей стране: проводятся конференции, издается литература. Во многих публикациях BPR Хаммера-Чампи рассматривается только как базовая идея, предлагаются собственные адаптированные или расширенные подходы к реконструкции бизнес-процессов.

Хаммер предложил следующее определение понятия реинжиниринга [21]: "Реинжиниринг — это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений в решающих современных показателях деятельности компании, таких как стоимость, качество, сервис и темпы".

Рассмотрим ключевые слова данного определения [21].

Объектом реинжиниринга являются процессы, а не компания. При традиционном подходе внимание фокусируется на отдельных функциях, работах, исполнителях. Проблема состоит в том, что процессы не удается описывать так же легко, как организационные иерархические структуры. Организационные подразделения, такие как "доставка продукции", "оплата счетов", "маркетинг", как правило, выполняют лишь узкие функции. Процессы же пронизывают организационные структуры. В них участвуют различные подразделения. Усовершенствование отдельных функций, выполняемых отдельными организационными единицами, рассматриваемых вне взаимосвязи друг с другом и с конечным продуктом компании, зачастую не ведет к повышению эффективности производства в целом, а лишь закрепляет существующую технологию.

Фундаментальное переосмысление предполагает исследование и ревизию не только способов ведения деловых процессов, но и более фундаментальных вопросов — *что* компания делает, *как* и *почему* она это делает, и *что должно быть?* В ходе реинжиниринга могут быть полностью переосмыслены правила и предположения (зачастую явно не выраженные), положенные в основу текущего способа ведения бизнеса.

Радикальное перепроектирование означает перепроектирование, затрагивающее суть явлений, а не поверхностные изменения. Это, скорее, изобретение, а не улучшение, модификация.

Под резкими скачкообразными улучшениями понимается улучшение показателей деятельности компании в десятки раз, а не на **10 — 100%**, как при использовании более традиционных методов, например технологии "управления качеством" (TQM — Total quality management).

Сущность и особенность **BPR** заключается в сочетании следующих составляющих:

- регламента — последовательности этапов реинжиниринга бизнеса, для каждого из которых определены состав работ, используемые процедуры, методики и т.д.;
- методики формирования моделей существующего и нового, перепроектированного бизнеса компании;
- эвристических правил реконструкции бизнеса (принципов реинжиниринга);
- инструментальных средств поддержки проведения реинжиниринга в виде информационных систем специального назначения.

Рассмотрим эти составляющие **BPR**, обращая особое внимание на проявление в них системного подхода.

Основные этапы реинжиниринга

На рис. 5.2 приведена общая схема реинжиниринга, включающая 4 основных этапа [21]:

Визуализация — разработка образа будущей компании.

Обратный инжиниринг — создание модели существующей компании.

Прямой инжиниринг — разработка нового бизнеса.

Внедрение — внедрение перепроектированных процессов.

В основном регламент проведения реинжиниринга соответствует последовательности принятия решений.

Этап "визуализация" **BPR** соответствует этапу "целевыявление" системной последовательности. Спецификацию целей компании предлагается осуществлять на основе анализа окружения — потребителей, клиентов, отрасли, к которой принадлежит компания, ведущих фирм смежных отраслей. По результатам анализа определяется новая стратегия компании, строятся прототипы — сценарии будущего, формируется высокоуровневое описание будущих процессов, определяется список факторов успеха и риска.

Этап "обратный инжиниринг" **BPR** соответствует этапу "анализ" системной последовательности. Если 1-й этап **BPR** включал в себя в основном анализ внешней среды компании, то на 2-м этапе осуществляется детальное описание существующего состояния самой компании. Результатом работ является модель существующего бизнеса. I и II этапы **BPR** выполняются параллельно: работа по визуализации новой компании начинается до и кончается после работы по обратному инжинирингу, поскольку модель существующего бизнеса оказывает влияние на формирование целей новой компании.

Этап **BPR** "прямой инжиниринг" соответствует этапу "проектирование" системной последовательности. На основе модели существующего бизнеса в соответствии с образом будущей компании на основе эвристических правил и рекомендаций (принципов реинжиниринга) формируется модель нового бизнеса. Она включает в себя описание новых, измененных бизнес-процессов. Особое значение придается реорганизации организационной структуры, а также разработке новых информационных систем, во многом определяющих эффективность новых бизнес-процессов. Выделяются подэтапы, соответствующие разработке подсистемы организационного взаимодействия и подсистемы информационной поддержки.

Этап **BPR** "внедрение" соответствует этапам "реализация" и "оценка" системной последовательности. Кроме собственно внедрения новых бизнес-процессов, происходит их оценка и тестирование, по результатам которого может быть принято решение о проведении следующей итерации реинжиниринга.

Директива проведения реинжиниринга



Этап 1 Визуализация	Разработка образа будущей компании Спецификация целей компании
------------------------	---



Этап 2 Обратный инжиниринг	Создание модели существующего предприятия Идентификация процессов на предприятии Документирование потоков работ Определение стоимости существующих процессов
-------------------------------	---



Этап 3 Прямой Инжи- нилинг	Этап 3.1 Перепроекти- рование бизнес- процессов	Реорганизация процедур для использования ЭВМ, повышения эффективности ручного труда Идентификация необходимых изменений в работе персонала и ЭВМ
	Этап 3.2 Разработка ор- ганизацион- ной структуры	Проектирование работ, системы мотивации Организация командной работы Управление качеством и т.д.
	Этап 3.3 Разработка информаци- онной систе- мы	Приобретение ЭВМ Разработка программного обеспечения



Этап 4 Внедрение	Подготовка персонала Внедрение перепроектированных процессов Интеграция и тестирование
---------------------	--



Новая компания

Рис. 5.2. Последовательность проведения реинжиниринга

Технологией **BPR**, кроме перечисленных 4-х этапов, предусматривается и подготовительный этап — создание системы управления процес-

сом реинжиниринга. На данном этапе выделяются участники проекта реинжиниринга, для каждого из них определяются роли и обязанности, факторы мотивации их деятельности, определяется структура их взаимодействия. В [21] описана новая, так называемая "процессная", организационная структура, рекомендуемая для команды по реинжинирингу. Данная структура является, по сути, модификацией матричной структуры. Она основана на выделении двух линий управления:

- управление ресурсами, соответствующее традиционному функциональному управлению линейными подразделениями;
- управление процессами, т.е. управление командами, выполняющими процессы и состоящими из работников различных функциональных подразделений.

Для эффективного управления проектом по реинжинирингу для каждого этапа подробно определены: состав работ и их исполнители; исходные данные для проведения этапа и результаты работ; используемые процедуры и рекомендации по их проведению, включая виды обсуждений и оценки результатов.

Методики моделирования BPR

Для описания моделей вводится система понятий и обозначений (язык), основанная на объектно-ориентированном подходе.

Выделяется 2 типа моделей: внешняя (прецедентная, или П-модель) и внутренняя (объектная, или О-модель) [21]. Оба вида моделей строятся как при обратном инжиниринге для описания существующего бизнеса, так и при прямом инжиниринге для описания нового, реконструированного бизнеса.

Внешняя, или прецедентная, модель описывает бизнес так, как он виден извне, т.е. как он воспринимается клиентами и др. окружением. П-модель отражает представление «что делать», а не «как делать». Если проводить аналогию с моделями системного анализа, то П-модель можно

отнести к функциональным моделям, описывающим деятельность системы, т.е. процессы, протекающие в системе.

В BPR термин "функция" относится лишь к видам деятельности, выполняемым отдельными функциональными подразделениями. Бизнес-процесс включает в себя различные виды деятельности (функции), начинающиеся со входов и заканчивающиеся созданием продукции, необходимой клиенту. Такие "внешние" бизнес-процессы, ориентированные на клиента, называются **прецедентами**. Прецеденты "пронизывают" оргструктуры.

Пример. Прецедент "обслуживание рейса" включает в себя такие функции, выполняемые работниками различных подразделений, как «регистрация пассажиров», «прием багажа», «техническое обслуживание самолета», «обслуживание полета», «выдача багажа».

Прецеденты могут иметь множество вариантов хода событий. Каждый конкретный прецедент (вариант) называется экземпляром. Варианты группируются в классы, т.е. класс — это обобщенный прецедент.

Построение П-модели начинается с выделения прецедентов и элементов окружения — клиентов, партнеров, поставщиков. Окружение моделируется при помощи *действующих лиц*, которые называются *субъектами*.

Далее составляется описание прецедента последовательностью мелких шагов. Такое описание называется потоком событий. Рассмотрим для примера описание прецедента "Продажа продукта". Основной поток событий:

Продавец получает заявку клиента.

Если в заявке указывается готовый продукт, то продавец проверяет наличие требуемого продукта на складе. Далее прецедент продолжается с шага 5.

Если в заявке указывается заказной продукт, продавец уточняет сведения о заказе и передает их проектировщику продукта.

Проектировщик модифицирует продукт в соответствии с требованиями клиента.

Продавец принимает от клиента оплату.

Продавец сообщает отправителю количество продукта и адрес клиента и заказывает транспорт.

Отправитель доставляет клиенту продукт.

С точки зрения системного подхода осуществляется декомпозиция процесса-прецедента на подпроцессы-события.

После описания прецедентов П-модель необходимо структурировать. Для структуризации используются отношения наследования и отношения типа «часть-целое».

Внутренняя, или объектная, модель раскрывает внутреннее устройство бизнеса, а именно: какие виды ресурсов используются для реализации прецедентов и каким образом они взаимодействуют.

В О-модели объекты представляют *участников* процессов и различного рода *сущности*. Различают типы объектов:

- интерфейсные — объекты, осуществляющие взаимодействие с окружением (например Продавец);
- управляющие — активные объекты, управляющие процессами, но не имеющие контакта с окружением (например Проектировщик);
- объекты-сущности — пассивные объекты, которые обрабатываются бизнесом (например Заказ, Продукт).

Объекты (классы и экземпляры) связываются *отношениями*. Выделяются отношения наследования, отношения "является частью", отношения ссылки. Характеристики объекта моделируются *атрибутами*.

Описание взаимодействия объектов "накладывается" на П-модель, т.е. создается еще одно описание потока событий прецедента в терминах участвующих объектов. Удобно отображать описание прецедентов в терминах объектов с помощью диаграммы взаимодействия. В диаграмме взаимодействия объект представляется вертикальным столбцом. Пример диаграммы взаимодействия приведен на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Диаграмма взаимодействия объектов прецедента

"Продажа заказного продукта"

Можно заметить аналогию между методикой моделирования **BPR** и методологией построения иерархических содержательных моделей, описанной выше. В методике ИСМ каждый процесс из иерархии процессов системы описывается с помощью так называемых структурных элементов (конечных продуктов, предметов деятельности, средств деятельности, кадров) и их параметров, а также параметров процесса. В модели **BPR** каждый отдельный шаг (событие) прецедента также описывается в терминах объектов-участников процесса.

Эвристические правила (принципы) проведения реинжиниринга

Эвристические правила представляют собой рекомендации, какими должны быть новые, перепроектированные бизнес-процессы, на каких принципах они должны быть основаны, чтобы обеспечить резкое скачкообразное улучшение показателей. Можно выделить две основные группы правил.

Первая группа касается организационных взаимодействий в ходе выполнения бизнес-процессов. Рекомендуется использовать для новой реконструированной компании "процессную" организационную структуру, аналогичную той, которая рекомендуется для команды по реинжинирингу. Даются рекомендации по упрощению потоков информации и организационных отношений, устранения лишних работ и связей, а также изменения личной роли работников в сторону увеличения их полномочий и самостоятельности в принятии решений. Основные правила [21]:

- Несколько работ объединяются в одну (горизонтальное сжатие процесса).
- Исполнители принимают самостоятельные решения (вертикальное сжатие процесса).
- Шаги процесса выполняются в естественном порядке (делинеаризация процесса).
- Процессы имеют различные варианты исполнения (выделение версий процессов).
- Работа выполняется там, где это наиболее целесообразно (перераспределение процессов между подсистемами).
- Уменьшение проверок и управляющих воздействий.
- Минимизация согласований.
- Уполномоченный менеджер обеспечивает единую точку контакта.

Преобладает смешанный (централизованный / децентрализованный) подход.

Другая группа правил касается применения в бизнес-процессах новых информационных технологий. Современные информационные технологии играют критически важную роль в **BPR**, поскольку позволяют радикально изменить правила работы компаний. Например, технология экспертных систем позволяет изменить старое правило: "Сложную работу могут выполнить только эксперты" на новое: "Функции эксперта может выполнить менеджер, снабженный экспертной системой". Технология распределенных баз данных позволяет изменить старое правило: "Информация может появляться только в одно время в одном месте" на новое: "Информация может одновременно появляться в нескольких местах по необходимости" [21].

Слабым местом технологии **BPR** является то, что не предложены формальные процедуры воплощения принципов реинжиниринга при проектировании новых бизнес-процессов. Рекомендуется использовать лишь такие общие приемы, как мозговой штурм, разработка сценариев.

Инструментальные средства поддержки проведения **BPR**

Использование инструментальных средств (ИС) во многом определяет успех конкретного проекта по реинжинирингу. Все используемые в **BPR** ИС можно разделить на следующие группы [21]:

1. Средства создания диаграмм и инструментарии низкого уровня, предназначенные для автоматизации первых этапов (описания целей и перспектив компании).
2. Средства описания потоков работ, позволяющие проектировать планы работ над проектами.
3. Средства имитационного моделирования/анимации, применяемые для анализа динамики бизнес-процессов, использующие специальные графические средства, специальные языки.

4. CASE-средства, объектно-ориентированные инструментари и средства быстрой разработки приложений (RAD-средства), используемые в основном для разработки информационных систем в составе новых бизнес-процессов.

5. Интегрированные многофункциональные средства, автоматизирующие все основные этапы BPR. Как правило, эти средства поддерживают многопользовательский доступ к инструментарию, стыковку с RAD-средствами, возможности имитационного моделирования.

Литература

- 1 Роберт М. Фалмер. Энциклопедия современного управления. — М.: ВИПКЭнерго, 1992. — 500 с.
- 2 Ехлаков Ю.П. Исследование систем управления (конспект лекций). — Томск: ТУСУР, 1998. — 112 с.
- 3 Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: Учеб. пособие для студентов вузов. — Томск: Изд-во НТЛ, 1997. — 396 с.
- 4 Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций / Пер. с англ. — М.: Мир, 1971. — 534 с.
- 5 Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. — М.: Экономика, 1984 — 250 с.
- 6 Гончаров В.В. Руководство для высшего управленческого персонала. — М.: МНИИПУ, 1996. — 430 с.
- 7 Силич В.А. Декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем. — Томск: изд-во Томск. ун-та, 1982. — 136 с.
- 8 Силич М.П. Организации: закономерности, структуры и функции. Учеб. пособие. — Томск: ТУСУР, 1998. — 64 с.
- 9 Силич В.А. Содержательные модели систем и их использование при проектировании АСУ. — Томск: изд-во Томск. ун-та, 1984. — 115 с.
- 10 Силич М.П. Реинжиниринг бизнес-процессов. Учеб. пособие. — Томск: ТУСУР, 2000. — 108 с.
- 11 Менеджмент и рынок: германская модель. Учеб. пособие / Под ред. У. Рора и С. Долгова. — М.: изд-во БЕК, 1995. — 480 с.
- 12 Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Мир, 1973. — 344 с.
- 13 Турунтаев Л.П. Разработка управленческих решений. Курс лекций. — Томск: ТУСУР. — 115 с.

- 14 Ямпольский В.З. Теория принятия решений. Учеб. пособие для студентов ВТУЗов. — Томск: изд-во ТПИ, 1979. — 90 с.
- 15 Половинкин А.И. Методы инженерного творчества. Учеб. пособие. — Волгоград: изд-во ВПИ, 1984. — 366 с.
- 16 Джонс Дж. К. Методы проектирования. — М.: Мир, 1986. — 326 с.
- 17 Вагнер Г. Основы исследования операций.— М.: Мир, 1973 — 335 с.
- 18 Каменнова М.С. Системный подход к проектированию сложных систем. — Журнал д-ра Добба, 1993, №1, с. 9-14.
- 19 Зиндер Е.З. Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг. Ч.1.- СУБД, 1995, №4.
- 20 Кириллов В.П. SSADM — передовая технология разработки автоматизированных систем // Компьютеры + программы, 1994, №2(10), с. 8-16.
- 21 Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: Реинжиниринг организаций и информационные технологии, — М.: Финансы и статистика, 1997. — 336 с.