

**Г.А.Угольницкий**

# **УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗАЦИЙ**

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ,  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ**

Москва  
Физматлит  
2011

УДК 334.02  
ББК 65.290-2я73

*Рецензенты:*

член-корреспондент РАН, доктор технических наук,  
профессор Новиков Д.А. (ИПУ РАН)

доктор социологических наук,  
профессор Мостовая И.В. (ЮФУ)

доктор физико-математических наук,  
профессор Тарко А.М. (ВЦ РАН)

**Угольницкий Г.А.**

Устойчивое развитие организаций. Системный анализ, математические модели и информационные технологии управления. / Г.А.Угольницкий. – Москва: Издательство физико-математической литературы, 2011. – 320 с.

ISBN 978-5-94052-205-8

В работе представлена системная концепция устойчивого развития организаций, тесно связанная с идеями менеджмента качества. Предложена методика обеспечения устойчивого развития организации, включающая построение системы процессов деятельности и управления, определение показателей процессов и их плановых значений, проведение мониторинга показателей, осуществление корректирующих действий, разработку системы стимулирования, осуществление предупреждающих действий с использованием имитационного моделирования, преодоление оппортунистического поведения, реализацию корпоративной информационно-моделирующей системы. При реализации методики активно используются математические модели различных типов. Книга будет полезна специалистам по прикладной математике и организационному управлению, руководителям и менеджерам, аспирантам и студентам соответствующих специальностей классических и экономических университетов.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава 1. КОНЦЕПЦИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ОРГАНИЗАЦИЙ</b> .....	12
1.1.Понятие устойчивого развития и его организационная специфика.....	12
1.2.Организация как иерархически управляемая динамическая система.....	28
1.3.Методы иерархического управления организациями.....	42
<b>Глава 2. ПРИНЦИПЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ</b> .....	58
2.1.Менеджмент качества и стандарты ИСО серии 9000.....	58
2.2.Процессный подход и обеспечение гомеостаза организации на основе динамически устойчивых компромиссов.....	74
<b>Глава 3. МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ</b> .....	87
3.1.Концепция мониторинга в менеджменте качества.....	87
3.2.Оптимизация организационного мониторинга.....	98
<b>Глава 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДАПТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ</b> .....	110
4.1.Понятие адаптивности и его организационная специфика.....	110
4.2.Коррекция и корректирующие действия.....	118
4.3.Предупреждающие действия.....	133
<b>Глава 5. ПРЕОДОЛЕНИЕ ОПОРТУНИСТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ</b> .....	151
5.1.Модели коррупции в организационном управлении.....	152
5.2.Учет частных интересов при распределении ресурсов.....	170

<b>Глава 6. ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИЙ</b> .....	185
6.1.Понятие и средства информационного моделирования.....	185
6.2.Информационное моделирование бизнес-процессов.....	200
6.3.Информационная модель организации как системы массового обслуживания.....	214
<b>Глава 7. КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ</b> .....	245
7.1.Корпоративные информационные системы и их моделирующие компоненты.....	245
7.2.Корпоративные информационно-моделирующие системы как инструмент обеспечения устойчивого развития организации.....	277
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	296
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ</b> .....	300
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	301

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого развития систем различного типа является чрезвычайно актуальной. Только на основе понятия устойчивого развития можно успешно решать сложнейшие экологические, экономические, политические, социальные, организационные проблемы на глобальном, региональном и локальном уровнях.

Системная концепция иерархического управления устойчивым развитием на основе математического моделирования описана в предыдущей монографии автора (Угольницкий 2010). Установлено соответствие между различными понятиями рациональности и формализующими их математическими моделями. Разработаны модели социальной иерархии и стратификации, дана характеристика методов иерархического управления и подходов к их формализации. Обоснованы возможность и целесообразность обобщения понятия устойчивого развития отношений общества и природы на случай систем произвольного типа с участием людей, сформулированы условия устойчивого развития динамической системы (гомеостаз, компромисс, динамическая согласованность). Показана ограниченность классической модели управляемой динамической системы и необходимость перехода к модели иерархически управляемой динамической системы.

Описан субъект иерархического управления устойчивым развитием (иерархической рациональности), представляющий собой структурированную систему управления со своими внутренними связями и отношениями, которая лишь условно может рассматриваться как единое целое по отношению к объекту управления. Построена статическая теоретико-игровая модель иерархического управления устойчивым развитием. Методы иерархического управления (принуждение, побуждение, убеждение) формализованы как решения иерархической игры, найдены необходимые и достаточные условия их существования. Построены динамические модели иерархического управления устойчивым развитием в полной и редуцированной форме, дана их интерпретация для случая иерархически управляемых эколого-экономических систем. Показано, что исследование полной динамической модели иерархического управления устойчивым раз-

витиём требует применения методологии прикладного системного анализа на основе имитационного моделирования. Построены и исследованы частные модели иерархического управления устойчивым развитием водохозяйственных, лесохозяйственных, рекреационных систем, учреждений системы образования и инвестиционно-строительных комплексов. Реализован подход к учету коррупции в моделях иерархического управления устойчивым развитием на примере эколого-экономических систем. Предложен подход к моделированию и оптимизации мониторинга как неотъемлемой части иерархического управления динамическими системами, дана подробная характеристика технологий экологического и организационного мониторинга с использованием математических моделей и информационно-аналитических систем управления.

Целью настоящей монографии является спецификация предлагаемых подходов и полученных результатов для одного из важнейших классов сложных динамических систем с участием людей – организационных систем (организаций). Производственные и человеческие ресурсы в организациях зачастую используются нерационально, растут трансакционные издержки, бесполезно расходуются сырье, материалы, время и деньги. Процветают разнообразные формы оппортунистического поведения, не позволяющие оптимально решать общесистемные задачи. Интересы собственников, менеджеров, работников и потребителей не совпадают, а возникающие конфликтные ситуации далеко не всегда находят разумные компромиссные исходы. Крупные корпорации теряют управляемость, их подразделения и филиалы становятся некоей «вещью в себе». Топ-менеджеры и рядовые сотрудники решают личные проблемы за счет предприятия. Слабо учитываются экстерналии хозяйственных процессов. Ключом к решению организационных проблем представляется устойчивое развитие организаций.

Первая глава работы представляет собой краткий «конспект» концепции иерархического управления устойчивым развитием, изложенной в книге (Угольницкий 2010). Это представляется необходимым, поскольку требовать от читателя обязательного знакомства с предыдущим творением автора было бы неправильно. При специфици-

кации концепции иерархического управления устойчивым развитием для организаций автор использовал труды классиков организационного управления: А.Файоля, Ф.Тейлора, Э.Мэйо, Ф.Ротлисбергера, Ч.Барнарда, Д.Мак-Грегора, П.Друкера, У.Оучи, Ф.Херцберга, И.Адизеса, Г.Минцберга, Ж.Тироля, А.Этциони и ряда других специалистов по менеджменту. Много ценного материала содержится в работах российских исследователей управления предприятиями: И.Гуркова, Т.Долгопятовой, Г.Клейнера, И.Мазура, В.Шапиро и других. Концепция устойчивого развития организаций во многом перекликается с теорией стратегического менеджмента.

Вторая глава книги устанавливает связь между концепциями устойчивого развития и менеджмента качества. Основной вклад в разработку менеджмента качества внес У.Э.Деминг, а также У.Шухарт, Дж.Джуран, К.Ишикава, Ф.Кросби, Г.Нив, Г.Тагути, А.Фейгенбаум и ряд других авторов. Среди российских исследователей в этой области следует отметить В.Елиферова, М.Круглова, А.Шадрина, Г.Шишкова и других. В работе показано, что принципы менеджмента качества полностью согласуются с требованиями устойчивого развития организации. Основой менеджмента качества выступает процессный подход, а плановые значения показателей процессов могут рассматриваться как гомеостатические границы. Требования компромисса и динамической согласованности учитываются при разработке процессов управления организацией.

В третьей главе работы рассматривается мониторинг как необходимая часть управления устойчивым развитием организации, обеспечивающая обратную связь на основе информации о текущем состоянии процессов. Основы концепции организационного мониторинга с этой точки зрения заложены в книгах (Мониторинг 2009; Угольниковский 2010). В настоящей работе более подробно развиваются модели оптимизации организационного мониторинга.

Четвертая глава монографии посвящена вопросам обеспечения адаптивности организации. Содержательные аспекты этой проблемы затрагивались в работах О.Тоффлера и В.Иноземцева. Базовые понятия корректирующих и предупреждающих действий в менеджмен-

те качества связаны именно с решением задач адаптации. При этом корректирующие действия представляют собой собственно адаптивную реакцию организации на возникающие в ее деятельности несоответствия, в то время как предупреждающие действия относятся к будущему, направлены на «преадаптацию» и должны опираться на компьютерное имитационное моделирование, предоставляющее возможности вариантного прогноза. Кроме того, в рамках авторской концепции механизмы стимулирования рассматриваются как средство автоматической адаптации, обеспечивающее заинтересованность сотрудников в устранении отклонений фактических значений показателей процессов от плановых значений. Эта идея восходит к схеме двухэтапной оптимизации в теории управления (Моисеев 1981).

В пятой главе книги изучаются возможности преодоления оппортунистического поведения сотрудников организации. Следует подчеркнуть, что именно оппортунизм, то есть использование различных возможностей для отстаивания собственных интересов в ущерб интересам организации в целом, является важнейшей причиной необходимости постоянного отслеживания и обеспечения требований устойчивого развития. С другой стороны, корректный менеджмент качества устраняет почву для оппортунизма и в пределе позволяет вовсе исключить его из корпоративной практики. Однако пока изучение оппортунизма и методов борьбы с ним сохраняет актуальность. Рассматриваются модели коррупции в организационном управлении и модели учета частных интересов при распределении ресурсов. Этим вопросам посвящены работы (Выборнов 2006; Левин 1999; Левин, Цирик 1998; Михайлов 1999; Михайлов и Ланкин 2006; Полтерович 1998; Bar 1996; Bardhan 1996; Rose-Ackerman 1975; Vasin and Agarova 1993) и другие.

В шестой главе изучаются вопросы информационного моделирования организаций. Рассматриваются понятие и средства информационного моделирования, авторская концепция динамических оргграфов, онтологические модели организаций, оригинальная методика перехода от описания бизнес-процессов организации в терминах нотации IDEF0 к их представлению с помощью аппарата теории массового обслуживания.



Седьмая глава монографии синтезирует ее результаты на основе концепции корпоративных информационно-моделирующих систем. Построение информационных моделей процессов деятельности организации и создание корпоративных информационных систем на их основе давно стало важным и хорошо разработанным направлением, с одной стороны, теоретической информатики, с другой стороны, индустрии автоматизации и компьютеризации производственной деятельности. Чрезвычайно плодотворной представляется идея дополнения информационных систем моделирующими компонентами, восходящая к предложенной в 1960-х годах в ВЦ АН СССР идее имитационной системы (Моисеев и др. 1973) и развитой в дальнейшем в многочисленных работах (Моисеев 1979, 1981; Моисеев и др. 1985; Горстко и др. 1984; Петров и др. 1996; Гурман и др. 1999; Павловский 2000; Савин 2000; Крапивин и Потапов 2002; Тарко 2005). Это направление поддерживают многие современные информационные технологии, например OLAP (аналитическая обработка данных в режиме реального времени). Сюда же можно отнести и разработку экспертных систем. Авторская концепция информационно-аналитической системы представлена в работах (Угольницкий 2004б; Угольницкий и Усов 2008, 2009). Практическая реализация условий устойчивого развития организации требует создания корпоративной информационно-моделирующей системы, обеспечивающей хранение и обработку данных, полученных в ходе мониторинга процессов, осуществление прогнозных и оптимизационных расчетов, выдачу экспертных рекомендаций, автоматизацию документооборота в соответствии с требованиями стандартов менеджмента качества и целый ряд других функций.

Основным результатом проведенных исследований является методика обеспечения устойчивого развития организации, включающая ряд этапов.

1. Построение системы процессов организации, включающей основные, вспомогательные и управляющие процессы.

2. Определение показателей процессов и их плановых значений, совокупность которых задает условия гомеостаза организации.

3. Мониторинг показателей, регулярно снабжающий владельцев процессов и руководство организации информацией о текущем со-

стоянии процессов на основе значений их показателей.

4. Осуществление корректирующих действий в случае возникновения несоответствия текущих (фактических) значений показателей процессов плановым (гомеостатическим) значениям.

5. Создание системы стимулирования, поощряющей соблюдение плановых значений показателей процессов и штрафующей за их нарушение. В идеале такая система должна обеспечивать автоматическое осуществление корректирующих действий.

6. Осуществление предупреждающих действий на основе имитационных моделей, обеспечивающих возможность вариантных прогнозных расчетов.

7. Реализация и сопровождение корпоративной информационно-моделирующей системы, играющей синтезирующую роль в практическом обеспечении требований устойчивого развития организации. Корпоративная информационно-моделирующая система позволяет: автоматизировать документооборот организации в соответствии с требованиями стандартов менеджмента качества; собирать, хранить и обрабатывать данные мониторинга; реализовать сценарии компьютерной имитации; находить решения оптимизационных задач управления; получать экспертные рекомендации.

Если при обеспечении гомеостаза достигается компромисс между всеми ключевыми стейкхолдерами и этот компромисс устойчив во времени, то можно говорить об устойчивом развитии организации.

При написании книги автор действовал с двух позиций. Во-первых, как академический исследователь процессов управления, профессор Южного федерального университета. Во-вторых, как линейный и функциональный руководитель – заведующий кафедрой указанного университета (с 1997 года) и директор по корпоративному управлению и стратегическому развитию компании «РостовДон-Девелопмент» (2006-2010 гг.). Автор надеется, что такое сочетание позволило усилить «стереоскопичность» подхода, сделать его более широким, сбалансированным и приближенным к практическим нуждам управления организациями. Поэтому в целевую аудиторию книги автор включает как специалистов, аспирантов и студентов в области прикладной математики и теории организационного управления, так и руководителей-практиков, менеджеров различных уровней.

Автор признателен своим ученикам, материалы совместной ра-

боты с которыми использованы в книге: О.Горбаневой, К.Денину, С.Корниенко, М.Мальсагову, И.Нурутдиновой, Д.Петрову, Е.Рыбасову, С.Тихонову, А.Усову. Автор выражает глубокое уважение деятельности профессора Л.А.Петросяна – создателя концепции динамической устойчивости и организатора замечательных ежегодных конференций «Теория игр и менеджмент» в Санкт-Петербурге. Автор глубоко благодарит члена-корреспондента РАН, профессора Д.А.Новикова за внимание к работе, ценные советы и практическую поддержку. Отдельную признательность автор выражает профессору И.В.Мостовой, благодаря которой значительно увеличились его познания в социологии управления.

## **Глава 1.**

# **КОНЦЕПЦИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Понятие устойчивого развития исторически возникло применительно к отношениям общества и природной среды и получило большую популярность в научных, политических и общественных кругах после Конференции ООН по окружающей среде и развитию 1992 года в Рио-де-Жанейро. Существенными условиями устойчивого развития являются: выполнение как требований экономического развития, так и требований экологического равновесия; соблюдение этих требований на бесконечном или весьма длительном интервале времени; необходимость согласования несовпадающих интересов при непременном выполнении ключевых требований. Однако полное единство в трактовке этого понятия пока отсутствует, что определяет целесообразность применения математической формализации. На основе последней можно уточнить понятие устойчивого развития и распространить его на более широкий класс динамических систем с участием людей, в частности, на организации.

Организацию целесообразно трактовать как иерархически управляемую динамическую систему, делая тем самым акцент на наличие в ее составе иерархически упорядоченных субъектов, формирующих динамику организации в соответствии со своими целями, интересами и возможностями их достижения. Достижение устойчивого развития организаций отнюдь не является самоочевидным и требует применения различных методов иерархического управления. Дается интерпретация методов принуждения, побуждения и убеждения применительно к задаче иерархического управления устойчивым развитием организаций. Рассматривается математическая формализация иерархически управляемых динамических систем и связанных с ними методов иерархического управления.

### **1.1. Понятие устойчивого развития и его организационная специфика**

Понятие устойчивого развития исторически возникло применительно к отношениям общества и природной среды. Начало широкому научному и общественному обсуждению экологических проблем положила Конференция ООН по окружающей среде (Стокгольм, 1972). Слово сочетание “sustainable development”, переведенное на

русский язык как «устойчивое развитие», впервые было введено в научный и публицистический обиход в докладе «Всемирная стратегия охраны природы», подготовленном Международным союзом охраны природы и природных ресурсов в 1980 году. Уже в этом докладе развитие определялось как «модификация биосферы и использование людских, финансовых, возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов для удовлетворения потребностей людей и улучшения «качества жизни»; чтобы развитие было устойчивым, следует учитывать не только его экономические аспекты, но и социальные и экологические факторы...» и отмечалось, что «сохранение природы – это такое управление использованием человеком ресурсов биосферы, которое может принести устойчивые прибыли современному поколению, не подвергая при этом сомнению потенциальные возможности удовлетворения потребностей будущих поколений» (Дрейер и Лось 1997:8).

Однако серьезное внимание к проблематике устойчивого развития было привлечено лишь после публикации доклада «Наше общее будущее» (1987), подготовленного Комиссией ООН по окружающей среде и развитию – так называемой «комиссией Брундтланд». В этом докладе устойчивое развитие определяется как развитие, «которое обеспечивает нужды современного поколения и не подрывает возможностей для будущих поколений удовлетворять их потребности» (Our Common Future 1987:43). Выводы «комиссии Брундтланд» легли в основу решений, принятых на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). В документах Рио-92 устойчивое развитие определяется как позволяющее на долговременной основе обеспечить стабильное экономическое развитие, не приводя к деградации природной среды, что гарантирует удовлетворение потребностей не только настоящего, но и будущих поколений. Принятая на конференции Рио-92 Декларация по окружающей среде и развитию включает 27 принципов, в числе которых, например, принцип 3 «Право на развитие должно быть реализовано, чтобы обеспечить справедливое удовлетворение потребностей нынешнего и будущих поколений в областях развития и окружающей среды» и принцип 4 «Для достижения устойчивого развития защита окружающей среды должна составлять неотъемлемую часть процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него» (Тураев 2002:162).

Несмотря на активное обсуждение концепции устойчивого развития и ряд принятых официальных решений, единство в определении и трактовке этого термина пока отсутствует. Уже в работе (Pezzey 1989) приведены более 60 определений устойчивого развития, пред-

ложенных разными авторами. Приведем некоторые из более поздних определений: «устойчивое развитие – это такое экономическое развитие, которое не подрывает природную базу для будущих поколений и возрастает в расчете на душу населения»; «устойчивое развитие – это экономическое развитие, обеспечивающее устойчивость окружающей среды и устойчивый, постоянный экономический рост»; «коэволюция человека и биосферы, т.е. такое взаимоотношение природы и общества, которое допускает их совместное развитие»; «путь максимизации долговременных выгод для человечества»; «повышение качества жизни людей, проживающих в пределах поддерживающей емкости экосистем» и т.д. (Данилов-Данильян и Лосев 2000:104). Развернутое синтетическое определение предлагает Г.Сдасюк: “Устойчивое развитие – это многоуровнево-иерархический управляемый процесс коэволюционного развития природы и общества (при массовом и осознанном участии населения), цель которого – обеспечить здоровую, производительную жизнь в гармонии с природой ныне живущим и будущим поколениям на основе охраны и обогащения культурного и природного наследия” (Переход к устойчивому развитию... 2002:18).

Сложность проблемы устойчивого развития определяет необходимость ее рассмотрения на разных уровнях и в различных аспектах (Агафонов и Исляев 1995; Алфимов 1999; Географические аспекты... 1999; Горшков 1995; Данилов-Данильян и Лосев 2000; Дрейер и Лось, 1997; Кондратьев 1997; Кондратьев и Романок 1996; Кондратьев и др. 2005; Лавров 1999; Лавров и Селиверстов 1996; Новая парадигма... 1999; Переход к устойчивому развитию... 2002; Писарев 1999; Розенберг и Краснощеков 1995; Рюмина 2000; Aall 2000; Carley and Christie 1993; Coenen et al. 2000; Dresner 2002; Gore 1993; Our Common Journey 1999; Pezzey 1989; Roseland 1992 и др.). Строго говоря, реализовать устойчивое развитие в полном объеме можно только на глобальном уровне, поскольку биосфера Земли едина и нарушение требований устойчивого развития в каком-то одном месте вполне способно вызвать глобальные последствия. Именно поэтому необходима координация усилий всех государств в мировом масштабе и принятие общих решений по обеспечению устойчивого развития, обязательных к исполнению всеми странами.

Однако сказанное не означает, что постановка вопроса об устойчивом развитии на региональном или даже локальном уровне полностью лишена смысла. Во-первых, теоретически и Земля не является совершенно изолированной системой, испытывая существенное влияние со стороны Солнца и других внешних источников воздей-

ствия. Но решение проблемы устойчивого развития в космическом масштабе вряд ли возможно в обозримом будущем, поэтому строгими требованиями системной зависимости приходится поступиться. Во-вторых, так или иначе обеспечение требований устойчивого развития в глобальном (биосферном) масштабе складывается из отдельных усилий на региональном, национальном, локальном и иных уровнях. В этой связи представляется удачным девиз экологических активистов: «Думай глобально, действуй локально». Справедливо замечают российские авторы модели устойчивого развития региона: “Нельзя строго математически доказать, что все региональные программы устойчивого развития в сумме точно обеспечивают сохранение Человечества, но бесспорно, что решение региональных задач является необходимым условием достижения этой глобальной цели” (Гурман и др. 1999:69).

Как отмечается в Рекомендациях Комиссии ООН по окружающей среде и развитию, «... участие и сотрудничество местных органов власти является решающим фактором в выполнении поставленных задач. Местные органы власти создают и используют, поддерживают экономическую, социальную и экологическую инфраструктуру, управляют процессами планирования, определяют местную экологическую политику и ее регулирование, помогают в осуществлении национальной и региональной экологической политики. Как уровень управления, наиболее близкий к населению, они играют жизненно важную роль в воспитании, мобилизации усилий и ответных действий населения для перехода к устойчивому развитию» (Переход к устойчивому развитию... 2002:355).

Методология и результаты работ по обеспечению устойчивого развития на местном уровне обобщены в (The Local Agenda 1996). Согласно указанным рекомендациям, основными элементами планирования устойчивого развития на местном уровне являются партнерство всех заинтересованных сторон, анализ местных условий и проблем, планирование устойчивого развития, реализация и мониторинг проекта, оценка выполнения и обратная связь. Пример реализации проекта устойчивого развития на местном уровне приведен в работе (Хованский и др. 2000).

Среди аспектов устойчивого развития следует отметить:

- экологический, образующий основу этого понятия. Важнейшей стороной понятия устойчивого развития выступает требование отказа от антропогенной нагрузки на природные экосистемы, превышающей их несущую способность (емкость среды). Требование непревышения допустимой нагрузки на окружающую природную среду

удобно называть «экологическим императивом» (Н.Н.Моисеев), нарушение которого способно привести к деградации природных комплексов и экологическим катастрофам;

- экономический, составляющий вторую неотъемлемую сторону понятия устойчивого развития. Фактически, понятие устойчивого развития подразумевает переход от постановки задачи охраны природы за счет экономического роста к постановке задачи одновременного обеспечения экономического развития и охраны среды, в связи с чем термин “sustainable development” лучше было бы перевести как «экологически устойчивое экономическое развитие» (Рюмина 2000:24). Однако термин “устойчивое развитие” при всех многочисленных и во многом справедливых упреках в свой адрес полностью прижился в русской литературе по этому вопросу и теперь замене уже не подлежит (хотя по-прежнему действует как красная тряпка на некоторых не знакомых с данной областью специалистов). Поэтому дело не в термине, а в его трактовке.

Следует подчеркнуть, что условие экологического императива является необходимым, но недостаточным для обеспечения устойчивого развития. Например, В.И.Данилов-Данильян и К.С.Лосев предлагают понимать под устойчивым “такое развитие человечества, при котором не разрушается природная база этого развития, т.е. воспроизводится пригодная для существования человека окружающая среда, поддерживается достаточная ресурсная база, сохраняется геном человека” (Данилов-Данильян и Лосев 2000:253). Но тогда очевидным решением проблемы является стратегия “нулевого роста” – полный отказ от экономического развития ради обеспечения сформулированного экологического императива. Ясно, что это невозможно. Поэтому экологический императив должен быть дополнен экономическим императивом, подразумевающим обеспечение определенного уровня удовлетворения материальных потребностей путем хозяйственной деятельности (производства товаров, оказания услуг, создания инфраструктуры). Концепция реализации экономического императива применительно к России описана в монографии (Львов 2002). Лауреат Нобелевской премии А.Сен обосновал концепцию «человеческого развития», согласно которой требования к условиям жизни должны включать не только уровень дохода, но и удовлетворение других жизненных ценностей: продолжительности жизни, уровня образования и т.п.;

- культурный аспект, играющий исключительно важную роль в распространении идеи устойчивого развития и переходе к ее практической реализации. Здесь в первую очередь следует отметить много-



образе культур населяющих Землю людей, которое обуславливает существенно различное отношение к идее устойчивого развития. Так, ряд восточных культур (буддизм, конфуцианство, синтоизм) вполне согласуются с основными требованиями устойчивого развития, что облегчает их принятие населением соответствующих территорий. А вот западная иудео-христианская, “фаустовская” культура в корне противоположна этим идеям, поскольку нацелена на покорение природы, утверждение антропоцентризма, экспансию и максимизацию потребления;

- социальный аспект, отражающий проблему устойчивого развития с точки зрения различных социальных общностей, структур и институтов, а также охватывающий проблематику политического решения соответствующих вопросов. Как показал исторический опыт, в рамках тоталитарных государств не удается обеспечить выполнение требований устойчивого развития, поскольку примат господствующей идеологии приводит к нерациональной растрате человеческих и природных ресурсов, реализации непродуманных крупномасштабных проектов, техногенным катастрофам. Однако и демократическое государственное устройство само по себе отнюдь не является панацеей в решении экологических проблем, о чем свидетельствует само возникновение проблематики устойчивого развития в наиболее благополучных государствах современного мира. Особенно тяжелый характер экологические проблемы приобретают в развивающихся странах и странах, осуществляющих переход от тоталитарного к демократическому государственному устройству и от централизованной к рыночной экономике: в этих случаях экологические приоритеты отходят на задний план по сравнению с проблемами, которые кажутся более насущными;

- управленческий аспект назван последним по порядку, но отнюдь не по значению. Очевидно, гармонизация условий экономического и экологического развития не может быть достигнута автоматически и требует специальных управленческих усилий. Специалисты подчеркивают, что «адекватное функционирование рыночного механизма во всех сферах деятельности, в том числе и природоохранной, предполагает не только относительную свободу обмена товарами, услугами, ресурсами и т.п., но и включение достаточно жесткого механизма централизованного управления в сферу взаимоотношений человека, общества и биосферы» (Дрейер и Лось 1997:14). Недостаточность сугубо рыночных мер и необходимость государственного регулирования эколого-экономических взаимодействий особенно настоятельно акцентировал академик Н.Н.Моисеев: “Необходима прежде всего

некоторая новая система требований, ограничивающая ту или иную деятельность людей, т.е. ставящая под контроль тот самый рынок, об утверждении которого сегодня так много говорят. Таким образом, государство и в его лице все гражданское общество обязаны эффективно вмешиваться в производственную деятельность, в экономический процесс... И государственное вмешательство требуется еще более жесткое и всеохватывающее, чем экономическая политика Рузвельта во времена великого кризиса 1929-1933 годов. Оно должно стать действительно всеохватывающим, поскольку разрушение окружающей среды, которое неизбежно произойдет при недостаточной активности государства и его властных начал, обернется бедствием для всех наций” (Моисеев 1998:214).

Неоднозначность трактовки понятия устойчивого развития вызывает различия в подходах к его реализации (Olson 1994). Наиболее распространенной остается идея так называемой «природоохранной экономики», в соответствии с которой устанавливаются определенные нормативы качества окружающей среды и квоты на добычу природных ресурсов, которые должны соблюдаться под угрозой экономических (а также административных) санкций. Применительно к России подход экологического нормирования детально описан, например, в (Опекунов 2001). Данный подход означает, что хозяйственное развитие сохраняет прежний экстенсивный характер, а его экологические издержки оплачиваются за счет экономического роста. Этот подход положен в основу формирования национальных стратегий устойчивого развития практически всех высокоразвитых в экономическом отношении стран, готовых платить за сохранение окружающей среды, но не готовых к качественным изменениям экономической деятельности и стандартов потребления во имя устойчивого развития. Опыт функционирования такой экономики показывает, что она вполне способна решать локальные задачи, но плохо справляется с решением экологических проблем на региональном и тем более глобальном уровне. Поэтому предлагаются модификации «природоохранной» экономики, усиливающие ее экологическую направленность (Данилов-Данильян и Лосев 2000:113-116).

Другим подходом к решению проблемы устойчивого развития является технологическая трансформация, подразумевающая переход к энерго- и ресурсосбережению, малоотходным технологиям производства, жесткому контролю над загрязнением. Свообразным манифестом этого направления стала книга “Фактор четыре. В два раза больше богатства из половины ресурсов” (Weizsacker et al. 1997), подготовленная как очередной доклад известному Римскому клубу.

Авторы этой книги полагают, что возможно обеспечить удвоение выпуска промышленной и сельскохозяйственной промышленности, при этом вдвое сократив затраты энергии и сырья. По-видимому, это направление надо признать наиболее перспективным для настоящего времени.

Существует и третий подход к решению проблемы устойчивого развития – переход от количественного роста к качественному развитию, что подразумевает существенную социокультурную трансформацию. Этот подход наиболее принципиален и позволяет решить проблему устойчивого развития полностью, но вряд ли может быть осуществлен в ближайшее время при наличии огромных экономических диспропорций между регионами Земли, политической и военной напряженности, односторонне понимаемой глобализации. Между тем именно Россия в силу своего все еще высокого экологического и интеллектуального потенциала могла бы стать одним из мировых лидеров на пути движения к подлинно устойчивому развитию, означающему в первую очередь пересмотр базовой системы общественных ценностей.

Многие исследователи критикуют концепцию устойчивого развития за ее расплывчатость и неопределенность, отрицают ее конструктивное содержание. Крайняя точка зрения по этому поводу отражена в статье (Грешневиков и Лемешев 2000), авторы которой трактуют устойчивое развитие как идеологическое обоснование концепции «золотого миллиарда», направленной против интересов большинства населения Земли во имя сохранения привилегий населения высокоразвитых в экономическом отношении стран Запада.

Более мягкая критика трактует устойчивое развитие как «идею, которую можно сформулировать в общих чертах, но нельзя описать точными аналитическими категориями, то есть в аналитическом смысле это неработающее понятие» (Бертон 1992). Однако с этим утверждением также согласиться нельзя. На наш взгляд, уточнения понятия устойчивого развития можно добиться с помощью построения математической модели.

Роли математических моделей в проблеме устойчивого развития посвящен специальный раздел работы (Данилов-Данильян и Лосев 2000:250-253). Скрепя сердце приходится согласиться с утверждениями авторов о невысокой прогностической ценности большинства известных моделей. Однако сами авторы справедливо отмечают ряд положительных следствий применения математического моделирования в экологии, а именно: получение значительного пропагандистского эффекта (например, огромное значение для формирования

экологического сознания знаменитой работы (Meadows et al. 1972), впервые донесшей до широкой общественности идею ограниченности природных ресурсов и необходимости ограничения экономического роста разумными пределами), изучение частных явлений на основе известных закономерностей, а главное – “построение и исследование математических моделей способствует наведению порядка в понятийном аппарате...” (Данилов-Данильян и Лосев 2000:252). Именно эта последняя способность математических моделей имеет ключевое значение.

Изучение существующих концепций устойчивого развития и соответствующих математических моделей позволяет сделать следующие выводы (Угольницкий 2010). Во-первых, устойчивое развитие подразумевает необходимость одновременной реализации экологического и экономического императивов. Для устойчивого развития человечества требуется не только непревышение допустимой антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, но и экономическое развитие, обеспечивающее удовлетворение материальных потребностей людей на уровне, который определяется исторически конкретными социально-культурными условиями общественной жизни. Одностороннее доминирование экономического императива приводит к неадекватным концепциям «природоохранной экономики», а одностороннее доминирование экологического императива – к столь же неадекватным концепциям «нулевого роста». Соответственно, при математическом моделировании устойчивого развития следует в равной мере учитывать показатели, закономерности и критерии, относящиеся к экологической и экономической подсистемам.

Во-вторых, следует признать пользу математического моделирования для решения проблемы устойчивого развития. Хотя большинство моделей не позволяет дать точный прогноз динамики природно-хозяйственных объектов и сформулировать исчерпывающие рекомендации для лиц, принимающих решения, модели играют исключительно важную роль в уточнении понятий, становлении единого языка, формировании концептуального багажа ученых, политиков и широкой общественности. Для отдельных процессов эколого-экономического взаимодействия модели позволяют получить количественные оценки.

В-третьих, устойчивое развитие не может быть достигнуто само по себе и требует специальных целенаправленных управленческих усилий. Как правило, непосредственные субъекты воздействия на окружающую природную среду преследуют цели, отличные от целей устойчивого развития и даже противоречащие им. Поэтому не-

обходимы действия верхних уровней иерархической системы управления, направленные на обеспечение условий устойчивого развития. Хотя кардинальным путем решения экологических проблем является экологическое воспитание и повышение экологического самосознания, в обозримом будущем выполнение экологического императива требует серьезных мер стимулирования и даже принуждения. В математических моделях отражение механизмов иерархического управления возможно с помощью аппарата теории игр.

Далее, приходим к следующим двум идеям. Во-первых, целесообразно дать строгое математическое определение понятия устойчивого развития. Только так можно избежать расплывчатости и нечеткости в трактовке этого понятия и обеспечить единую платформу для междисциплинарных исследований. Во-вторых, исходя из данного универсального определения, можно и нужно распространить понятие устойчивого развития на более широкий класс динамических систем с участием людей, в частности, на организации, чему посвящена настоящая работа.

Базовое определение устойчивого развития дано в предыдущей книге автора (Угольницкий 2010), где охарактеризованы условия гомеостаза, компромисса и динамической согласованности, и уточняется в настоящей книге. Можно утверждать, что по отдельности указанные условия являются необходимыми, а в совокупности и достаточными условиями устойчивого развития любой динамической системы с участием людей. Условие гомеостаза выражает базовые требования ко всем аспектам функционирования системы, условие компромисса обеспечивает адекватность воздействий на нее всех ассоциированных субъектов («стейкхолдеров») при компромиссном учете их интересов, условие динамической согласованности означает совместимость краткосрочных и долгосрочных критериев оптимальности субъектов и тем самым невыгодность для них отклоняться от согласованного компромиссного решения с течением времени. Применительно к организации стейкхолдеров целесообразно подразделить на две группы: внутренние (акционеры, менеджеры, работники) и внешние (потребители, поставщики, органы власти). Содержательная и математическая характеристика условий устойчивого развития, дополненная интерпретацией для случая организаций, приведена в таблице 1.1.1.

Таблица 1.1.1

**Условия устойчивого развития динамических систем  
с участием людей**

Условия устойчивого развития	Математическая формализация	Общее содержательное описание	Интерпретация для организаций
Гомеостаз	$\forall t \in [0, T]: x(t) \in X^*$ , где $x(t)$ – вектор состояния системы (фазовый вектор), $X^*$ – область гомеостаза, $T$ – период функционирования	Все существенные показатели функционирования системы принимают значения из заданных диапазонов	Показатели процессов системы менеджмента качества принимают значения из плановых диапазонов
Компромисс	Существование решения теоретико-игровой модели конфликтного взаимодействия субъектов	Учет и согласование интересов всех ассоциированных с системой субъектов (стейкхолдеров)	Учет и согласование интересов акционеров, менеджеров, потребителей и поставщиков организации
Динамическая согласованность	Динамическая устойчивость (time consistency) решения теоретико-игровой модели	Согласование краткосрочных и долгосрочных критериев оптимальности, делающее для любого субъекта невыгодным отклонение от согласованного компромисса в течение всего периода функционирования системы	Невыгодность отклонения от согласованного компромисса для любого из указанных субъектов в течение всего периода функционирования организации

Условие гомеостаза целесообразно рассматривать в двух вариантах: а) при конечном  $T$ ; б) при  $t \rightarrow \infty$ , причем второй вариант более адекватно передает идею устойчивого развития.

Понятие устойчивого развития оказывается плодотворным не только при решении экологических проблем, но и при анализе функционирования и управлении деятельностью более широкого класса социальных организаций (Угольницкий 2002б). Необходимость такого подхода определяется наличием двух крайностей при выборе стратегии развития социальных организаций. Первая из них – это хорошо известная бывшим советским гражданам, реализуемая на протяжении многих десятилетий стратегия откладывания решения насущных материальных проблем «на потом», обещаний «коммунизма для будущего поколения», призывов к затягиванию поясов и разного рода жертвам ради «светлого будущего для всего человечества». Эта стратегия при всей ее кажущейся одухотворенности и теоретической привлекательности доказала свою историческую несостоятельность и в конечном счете послужила одной из важнейших причин развала СССР.

Однако не менее опасна и другая крайность, активно насаждаемая на первых этапах российских реформ. Это стратегия «хапка», исключительной ориентации на немедленное материальное благосостояние независимо от духовных, моральных, экологических факторов, связанная с уничтожением невозобновимых природных и культурных ресурсов, загрязнением окружающей среды и общественного сознания, бездарной растратой времени и творческих способностей высококвалифицированных специалистов ради удовлетворения сиюминутных утилитарных потребностей. Разумеется, эти «Сцилла и Харибда» на пути движения социальных организаций не имеют исключительно российского происхождения, хотя история нашей страны особенно ярко продемонстрировала их опасность. В терминах знаменитого исследования П.Сорокина (2000) их можно связать с «идеациональным» и «чувственным» направлениями в развитии культуры, циклически повторяющимися на протяжении всей человеческой истории во всех государствах мира.

Концепция устойчивого развития в его расширенном понимании открывает путь «золотой середины», точнее, «золотого сечения», той оптимальной пропорции, которая позволяет согласовать высокие интересы вечности и насущные жизненные потребности, провести корабль социальной организации между «Сциллой идеациональности» и «Харибдой чувственности». Гармоничный характер концепции устойчивого развития позволяет провести ее аналогию с «идеали-

стическим» типом культуры по П.Сорокину (2000). Основной акцент в концепции устойчивого развития делается на обеспечении долгосрочных условий стабильности функционирования социальной организации. Однако на каждом этапе развития должны решаться и текущие задачи удовлетворения насущных материальных потребностей, что образует основу для достижения целей более высокого порядка.

Рассмотрим условия устойчивого развития на примерах нескольких типов социальных организаций.

### *Производственное предприятие.*

Требование гомеостаза предприятия включает в себя выполнение следующих условий: выпуск качественной продукции, отвечающей потребностям целевой группы населения; обеспечение требуемых показателей прибыли и рентабельности; установление адекватного материального вознаграждения работников предприятия; сохранение и модернизация производственного комплекса предприятия, его технолого-экономических связей; создание благоприятного «имиджа» предприятия в глазах населения и деловой репутации в глазах партнеров; сохранение трудового коллектива предприятия в рамках требуемой профессионально-квалификационной структуры; создание благоприятной социально-психологической атмосферы в коллективе и условий для творческой самореализации работников; выполнение требований экологической безопасности производственного процесса (по потреблению природных ресурсов и загрязнению окружающей среды) в зависимости от специфики предприятия.

Описание конфликтного взаимодействия на уровне производственного предприятия предполагает выделение по крайней мере следующих основных действующих субъектов: акционеры (собственники) предприятия; менеджеры (высшее руководство) предприятия; трудовой коллектив – и построение той или иной теоретико-игровой модели их взаимодействия, отражающей неравноправие агентов.

Применительно к производственному предприятию динамическая согласованность трактуется нами как согласование краткосрочных целей и интересов различных групп и отдельных индивидов в составе предприятия с долгосрочными стратегическими целями, определяемыми требованиями внутреннего развития предприятия и его взаимодействия с внешней средой. Стратегические цели предприятия включают социальные, экологические, экономические, политические составляющие, в то время как краткосрочные интересы носят преимущественно экономический характер.



*Учреждения системы образования.*

Применительно к системе образования проблема обеспечения устойчивого развития представляется в нынешних российских условиях особенно актуальной (Агиева и др. 2003). С одной стороны, в сфере образования исключительно важно реализовать долгосрочные стратегические цели, отвечающие интересам общества в целом. Как отмечает один из ведущих специалистов в этой области, «именно образование принципиально «работает» на будущее, предопределяя личностные качества каждого человека, его знания, умения, навыки, мировоззренческие и поведенческие приоритеты, а следовательно, в конечном итоге – экономический, нравственный, духовный потенциал общества, цивилизации в целом» (Гершунский 1998:18). С другой стороны, сложная социально-экономическая ситуация переходного периода затрудняет постановку и решение стратегических задач образования и вынуждает уделять основное внимание текущим проблемам выживания отрасли в целом и отдельных учебных заведений. Совершенно недостаточный объем бюджетного финансирования обуславливает для учебных заведений необходимость привлечения внебюджетных средств путем оказания коммерческих образовательных услуг и использования производственных фондов, а для преподавателей – поиска дополнительных заработков (репетиторства, совместительства и т.п.). В сфере высшего образования определенные надежды были связаны с созданием федеральных и исследовательских университетов, однако наступивший финансовый кризис вновь ухудшил ситуацию. Поэтому крайне актуальна проблема согласования стратегических общественных целей устойчивого развития и текущих экономических интересов отдельных учебных заведений и их работников.

Рассмотрим условия устойчивого развития применительно к трем объектам системы образования субъекта Федерации (республики): республиканской системы образования, Министерства образования республики и университетской кафедры (таблица 1.1.2).

Таблица 1.1.2 (по (Агиева и др., 2003))

**Условия устойчивого развития в системе образования**

Условия устойчивого развития	Кафедра	Министерство образования	Система образования республики
Гомеостаз	<p>Качество выпускных работ студентов</p> <p>Количество и качество учебных пособий и методических разработок</p> <p>Количество и качество научных публикаций</p> <p>Количество подготовленных кадров высшей научной квалификации</p> <p>Материально-техническая база кафедры</p> <p>Социально-психологический климат в коллективе</p> <p>Связи с коллегами в стране и за рубежом</p> <p>Связи с выпускниками, престиж кафедры</p>	<p>Качество решения текущих задач (поручения вышестоящих органов, обращения работников системы образования)</p> <p>Разработка и реализация стратегии развития республиканской стратегии образования</p> <p>Обеспечение условий для плодотворной работы коллектива (материально-техническая база, социально-психологическая атмосфера)</p> <p>Социальные и деловые связи, взаимодействие с другими организациями в республике и за ее пределами</p>	<p>Качество подготовки специалистов</p> <p>Качество оказываемых населению дополнительных образовательных услуг</p> <p>Состояние материально-технической базы учебных заведений</p> <p>Сохранение и развитие профессионально-квалификационной структуры преподавательских коллективов</p> <p>Работа по профессиональной ориентации, связью с общественностью</p>
Компромисс	Существование решения теоретико-игровой модели конфликтного взаимодействия		
Динамическая согласованность	Динамическая устойчивость решения теоретико-игровой модели конфликтного взаимодействия		

*Девелоперская компания.*

Смысл девелоперской деятельности заключается в координации работ в рамках реализации инвестиционно-строительных проектов (Девелопмент недвижимости 2009; Заренков 2006). Полный цикл инвестиционно-строительного проекта включает в себя следующие процессы: выбор участка под застройку и юридическое оформление прав на землю; проведение маркетинговых исследований; обеспечение финансирования; разработка концепции проекта; получение необходимых разрешений и согласований; эскизное и рабочее проектирование; строительство объекта; реализация площадей; обеспечение обслуживания объекта. Каждый из указанных процессов характеризуется набором показателей, описывающих требования к срокам и качеству работ. Требование гомеостаза состоит в соответствии текущих значений показателей плановым значениям, что отслеживается в основном с помощью планов-графиков по каждому процессу.

К внутренним стейкхолдерам девелоперской компании, как и любой организации с частной формой собственности, относятся ее акционеры, менеджеры и сотрудники, интересы и возможности которых подробнее рассматриваются в следующем параграфе. К внешним стейкхолдерам относятся: стратегические инвесторы, вкладывающие существенные средства в финансирование инвестиционно-строительного проекта в обмен на долю прибыли от реализации построенных объектов; долевые инвесторы и арендаторы, приобретающие в собственность либо арендующие недвижимость; кредитные организации, финансирующие проект; поставщики различных услуг (маркетинговые и консультационные агентства, проектные и строительно-монтажные организации, риэлтерские фирмы, эксплуатирующие компании и т.п.), органы государственного контроля (по строительству и архитектуре, налоговые, пожарные, экологические, санитарные и т.п.). Компромисс должен достигаться как внутри организации, так и в ее связях с внешними партнерами, и быть устойчивым во времени.

Понятие устойчивого развития организаций тесно связано с двумя важными взаимосвязанными проблемами: стратегического развития и субъектности. Согласно мнению многих компетентных экспертов, трудности развития российской экономики в решающей степени обусловлены отсутствием научно обоснованной стратегической концепции, преимущественной ориентацией на торговлю сырьевыми ресурсами. В этих условиях официальные заявления о необходимости поддержки инноваций и высокотехнологичных отраслей промышленности, образования и науки, создания экономики знаний, устранения

препон для развития малого и среднего бизнеса остаются не более чем декларациями.

Поскольку условие гомеостаза рассчитано на длительный или даже бесконечный период, его выполнение требует от организации разработки долгосрочных показателей функционирования, отражающих стратегические цели развития. В число этих показателей должны входить требования к развитию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, внедрению новых ресурсосберегающих технологий, охране окружающей среды, развитию человеческого потенциала организации.

Другой стороной устойчивого развития служит проблема субъектности. Успешная практическая реализация любой программы возможна лишь при наличии заинтересованных субъектов, желающих выполнить программу и имеющих реальные возможности для этого; в противном случае все программы опять-таки остаются на уровне деклараций, что подтверждается, например, не слишком удачными попытками практической реализации различных целевых программ на федеральном и региональном уровнях. Применительно к организациям такими субъектами должны быть в первую очередь руководитель организации и другие топ-менеджеры, но также и прочие ключевые стейкхолдеры. Именно на обеспечение заинтересованной субъектности направлены условия компромисса и динамической согласованности. Последнее условие особенно важно, поскольку оно обеспечивает сохранение стратегического курса, преемственности и ответственности при смене руководства.

Поэтому реализация требований устойчивого развития для организаций различных секторов хозяйства и форм собственности в совокупности представляет собой необходимое условие устойчивого развития экономики страны.

## **1.2. Организация как иерархически управляемая динамическая система**

Классическое понятие управляемой динамической системы (УДС) включает в себя активный субъект управления (управляющую подсистему) и пассивный объект управления (управляемую подсистему). Субъект оказывает на объект управляющее воздействие для достижения цели управления с учетом имеющихся ограничений. Субъект может наблюдать изменение состояния объекта во времени и при необходимости корректировать управляющее воздействие (обратная

связь). Схема УДС показана на рис.1.2.1.

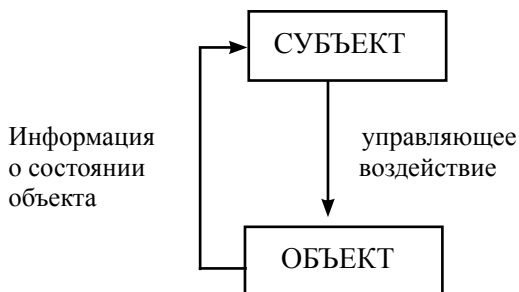


Рис.1.2.1. Управляемая динамическая система

Математическую модель УДС удобно записать в следующем виде:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + (\Delta t)f_t(x(t), u(t), \xi(t)), \quad (1.2.1)$$

$$x(0) = x_0, \quad t = 0, \Delta t, \dots, T - \Delta t. \quad (1.2.2)$$

Здесь  $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$  - вектор состояния (фазовый вектор), компоненты которого (переменные состояния, фазовые переменные)  $x_i(t)$  ( $i=1, \dots, n$ ) - это значения показателей, характеризующих состояние УДС в момент времени  $t$ ;

$u(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t))$  - вектор управляющих воздействий.

Поскольку вектор  $u(t)$  входит в правую часть уравнения (1.2.1), то от значений его компонент (управляющих переменных)  $u_j(t)$  ( $j=1, \dots, m$ ) зависит изменение вектора состояния  $x(t)$ . Значения управляющих переменных  $u_j(t)$  выбираются одним или несколькими ассоциированными с УДС субъектами в соответствии с определенной целью;

$\xi(t) = (\xi_1(t), \dots, \xi_p(t))$  - вектор нецеленаправленных воздействий.

Этот вектор имеет иную природу, нежели вектор  $u(t)$  (хотя и тот, и другой соответствуют внешним по отношению к системе факторам). Переменные  $\xi_k(t)$  не контролируются субъектом управления; он может лишь регистрировать их значения и соответствующие изменения вектора состояния. Однако значения  $\xi_k(t)$  оказывают воздействие на динамику вектора состояния  $x(t)$ , поэтому говорят, что развитие динамической системы происходит в условиях неопределенности;

$f_t(x(t), u(t), \xi(t))$  - вектор-функция той же размерности, что и  $x(t)$ , определяющая динамику вектора состояния в условиях внешнего воздействия;

$x_0 = (x_{01}, \dots, x_{0n})$  - начальное значение вектора состояния, которое считается известным;  $T$  - период, в течение которого моделируется динамика управляемой системы;  $\Delta t$  - шаг моделирования (разница во времени между двумя последовательными состояниями системы). Не ограничивая общности, можно положить  $\Delta t=1$  и переписать модель (1.2.1)-(1.2.2) в виде

$$x(t+1) = x(t) + f_t(x(t), u(t), \xi(t)), \quad (1.2.3)$$

$$x(0) = x_0, \quad t = 0, 1, \dots, T-1. \quad (1.2.4)$$

Хотя модель (1.2.3)-(1.2.4) содержит основную информацию об УДС, она нуждается в некоторых дополнениях. Во-первых, каждый из векторов  $x(t)$ ,  $u(t)$ ,  $\xi(t)$  может принимать значения из некоторой допустимой области, обозначаемой соответственно  $X(t)$ ,  $U(t)$ ,  $\Xi(t)$ . Область допустимых состояний  $X(t)$  характеризует диапазон возможных состояний системы, область допустимых управлений  $U(t)$  - возможности субъекта по управлению системой, а область  $\Xi(t)$  - возможные значения неконтролируемых факторов (при полном отсутствии информации эта область совпадает со всем пространством  $R^p$ ).

Во-вторых, наличие целенаправленного субъекта управления подразумевает наличие цели управления, формализовать которую можно по-разному. Одним из наиболее естественных способов является следующий: субъект управления стремится к тому, чтобы управляемая система находилась в некоторой заданной области  $\Omega(t) \subset X(t)$ , т.е.

$$x(t) \in \Omega(t), \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (1.2.5)$$

Распространенным частным случаем требования (1.2.5) является условие

$$x(T) = x_T \quad (1.2.6)$$

попадания управляемой системы в заданную точку в конце периода прогноза (например, прибытие самолета в некоторый аэропорт или достижение электростанцией проектной мощности). Для учета того, что будет с системой при  $t > T$ , следует добавить к модели ограничение типа

$$x(T+1) > x_{T+1}. \quad (1.2.7)$$

В-третьих, цель управления может достигаться различными способами, и здесь возникает вопрос о выборе наилучшего в некотором смысле из этих способов, т.е. об оптимальности управления. В классической постановке задачи управления динамической системой считается, что решения принимает единственный субъект, руководствующийся одним критерием оптимальности (экономически рациональный субъект). Критерий оптимальности можно записать в виде

$$J = \sum_{t=1}^T g(x(t), u(t), \xi(t)) \rightarrow \max, \quad (1.2.8)$$

где  $g$  – значение целевой функции (критерия оптимальности) субъекта в момент времени  $t$ . Динамическая задача оптимизации (1.2.3)-(1.2.5), (1.2.8) или (1.2.3)-(1.2.4), (1.2.6), (1.2.8) с возможным дополнительным условием (1.2.7) называется задачей оптимального управления, решению которой в различных вариантах посвящена теория оптимального управления (Беллман 1960; Понтрягин и др. 1961).

Вместе с тем, в ряде практических ситуаций модель УДС оказывается недостаточной. Например, пусть субъект управления – промышленное предприятие, расположенное на берегу реки – объекта управления. Цель предприятия – максимизация прибыли, при этом ущерб от загрязнения воды производственными стоками не учитывается. Другой пример – деятельность менеджера среднего звена организационного управления. Его (ее) интересы могут выражаться в максимизации личного дохода, минимизации усилий и т.д., но редко совпадают с интересами организации в целом. Согласно институциональной теории, внутри фирмы происходит оппортунистическая максимизация полезности каждым из ее сотрудников.

Таким образом, в большом числе случаев действия субъекта управления, определяемые его частными целями и интересами, могут привести объект управления в состояние, неприемлемое с точки зрения субъекта более высокого уровня (в примере с менеджером это организация, в «экологическом» примере – население региона). Иначе говоря, цель управления (1.2.5) или (1.2.6) не выражает условие гомеостаза, объективно существующее для УДС (1.2.3)-(1.2.4), а стремление к максимизации критерия (1.2.8) ведет к нарушению гомеостаза. Это приводит к мысли о необходимости введения дополнительного (верхнего) уровня управления, цель которого заключается в обеспечении «суперсистемных» требований к состоянию объекта управления. При этом у нового субъекта управления могут возникать свои частные интересы. Для достижения своей цели новый субъект управления может воздействовать на исходный субъект управления. Например, природоохранный орган может контролировать качество воды, определяя лимиты стоков и подвергая предприятие штрафу за их нарушение. Генеральный директор организации может разработать систему мотивации, побуждающую менеджеров среднего звена способствовать достижению общеорганизационных целей. Эти рассуждения приводят к концепции иерархически управляемой динами-

ческой системы.

Классическая модель УДС (рис.1.2.1) обобщается в виде модели иерархически управляемой динамической системы (Угольницкий 1997, 1999), простейший вариант которой показан на рис.1.2.2.

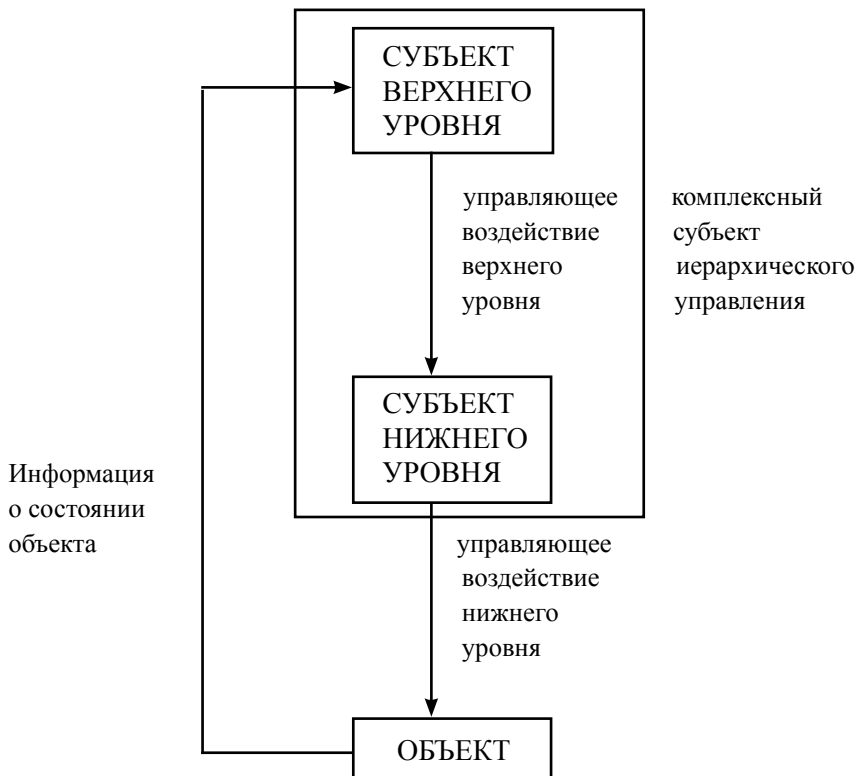


Рис.1.2.2. Иерархически управляемая динамическая система

Простейшая конфигурация иерархически управляемой динамической системы (ИУДС) включает три элемента:

- субъект воздействия верхнего уровня (Ведущий);
- субъект воздействия нижнего уровня (Ведомый);
- управляемая динамическая система (УДС).

Предполагается, что взаимоотношения между элементами ИУДС



устроены именно так, как показано на рис. 1.2.2: Ведущий воздействует на Ведомого, а Ведомый на УДС (непосредственное воздействие Ведущего на УДС отсутствует). Ведущего и Ведомого вместе можно рассматривать как совокупный субъект воздействия на УДС, имеющий иерархическую структуру, этим объясняется название ИУДС. Конечно, в общем случае возможны более сложные конфигурации, включающие в качестве иерархического субъекта воздействия на УДС древовидные, ромбовидные и другие структуры и их сочетания.

Смысл вводимого понятия ИУДС заключается в следующем. Воздействуя на УДС, Ведомый преследует определенные цели, которые, вообще говоря, не совпадают с некоторыми объективно существующими целями поддержания УДС в заданном состоянии (условие гомеостаза). Сама УДС, являясь пассивным объектом, не может обеспечить достижение этих целей. Именно поэтому нужен Ведущий, который способен воздействовать на Ведомого в указанных целях.

Практика дает очень большое число ситуаций, которые могут описываться и изучаться с помощью понятия ИУДС. К ним относятся цепочки типа “банк - предприятие - производство” (или, в более широком масштабе, “Международная валютная организация – руководство страны - экономика страны”), “начальник - подчиненный - работа”, “врач - больной - организм” и многие другие. Помимо основных структурных элементов, показанных на рис. 1.2.2, в состав понятия ИУДС входят следующие аспекты.

#### *Динамика управляемой системы.*

Поскольку воздействие на УДС оказывает только Ведомый, то какая-либо специфика по сравнению с классической моделью УДС здесь отсутствует. УДС характеризуется вектором состояния, компоненты которого изменяются во времени в силу саморазвития, управляющих воздействий Ведомого и неконтролируемых внешних факторов (случайных или неопределенных). Начальное состояние УДС предполагается известным.

#### *Объективная цель управления.*

Здесь имеется в виду объективность по отношению к Ведомому, оказывающему воздействие на УДС в своих субъективных интересах. Субъектом, стремящимся достичь указанной цели, является Ведущий - выразитель объективных интересов. Это могут быть интересы общества или другой системы, более широкой, нежели связка «Ведомый-УДС». Объективная цель управления (гомеостаз УДС) может пониматься и соответственно формулироваться по-разному. Целесообразно выделить два основных подхода. При первом подхо-

де требуется, чтобы УДС находилась в некоторой заданной области пространства состояний. Если для каждой компоненты вектора состояния задать диапазон допустимых значений в виде отрезка, то допустимая область в пространстве состояний будет представлять собой параллелепипед. Похожее требование возникает и при наличии «идеального состояния», от которого УДС не должна отклоняться слишком далеко. В этом случае допустимая область в пространстве состояний представляет собой шар соответствующего радиуса. Такой подход является весьма распространенным. Например, применительно к человеческому организму требуется, чтобы его жизненно важные параметры (температура, давление, пульс и т.д.) находились в определенном диапазоне, выход за границы которого означает болезнь. Часто аналогичный подход применяется и к макроэкономическим параметрам (бюджетный дефицит, темп инфляции, валютный курс и т.п.) или микроэкономическим показателям функционирования организации (рентабельность и т.д.). Второй подход связан с понятием устойчивости по Ляпунову, смысл которого заключается в том, чтобы траектория системы оставалась близкой к некоторой заданной траектории при действии (обычно малых) внешних возмущений. Близким к этому требованию является принцип Ле-Шателье, согласно которому внешние воздействия, выводящие систему из равновесия, стимулируют в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия (Моисеев 1979).

#### *Действия, интересы и возможности Ведомого.*

Интересы Ведомого описываются стремлением к максимизации некоторой целевой функции, зависящей в общем случае от состояния системы и управляющих воздействий Ведомого и Ведущего. Множество допустимых управляющих воздействий Ведомого характеризует его возможности по управлению динамической системой. В общем случае это множество, как и целевая функция Ведомого, зависит от состояния системы и действий Ведущего; последнее обстоятельство обуславливает иерархическую природу отношений между Ведущим и Ведомым. Поскольку речь идет об управлении динамической системой, то целевая функция Ведомого также является динамической, т.е. представляет собой функционал (интеграл по периоду прогнозирования или сумму целевых функций на каждом шаге). Это обстоятельство имеет принципиальное значение, поскольку требует соизмерения разновременных затрат и эффектов (дисконтирования). Период прогнозирования может быть конечным или бесконечным. В первом случае обычно следует вводить дополнительное условие типа (1.2.7), касающееся состояния системы за пределами периода прогнозиро-

вания, иначе оптимальное решение может привести к уничтожению системы в последний момент времени. По сути дела, это требование относится к рассмотренной выше объективной цели управления.

*Действия, интересы и возможности Ведущего.*

Главной целью Ведущего является обеспечение некоторых объективных требований к состоянию УДС. Если указанная цель является для Ведущего единственной, то его естественно назвать бескорыстным. Однако у Ведущего могут быть дополнительные субъективные интересы, к удовлетворению которых он может стремиться при обязательном условии достижения главной цели. Как и в случае Ведомого, эти интересы выражаются в максимизации некоторой функции полезности. Такого Ведущего будем называть небескорыстным. Поскольку в сделанных предположениях Ведущий не оказывает непосредственного воздействия на УДС, то он добивается своих целей через управление Ведомым. Параметры воздействия определяются множеством допустимых управлений Ведущего. Если управляющие параметры Ведущего могут принимать любые физически возможные значения, то будем говорить, что его ресурсы не ограничены; в противном случае, конечно, ресурсы являются ограниченными. Таким образом, с точки зрения целей можно различать бескорыстных и небескорыстных Ведущих, а с точки зрения возможностей управления - Ведущих с ограниченными и неограниченными ресурсами.

Один из важнейших классов ИУДС образуют организационные системы. Организацию целесообразно рассматривать как ИУДС, схема простейшего варианта которой представлена на рис.1.2.2. При этом в качестве управляемой динамической системы выступает процесс, осуществление которого является социальной функцией организации. А вот идентификация Ведущего и Ведомого является не столь простой задачей и допускает различные варианты решения (Угольниковский 2002б).

Наиболее естественный подход заключается в том, чтобы считать Ведущим высшее руководство организации (предполагая любую организацию иерархически структурированной), а Ведомым – ее коллектив. Поскольку требования гомеостаза отождествляются со стратегическими целями развития организации, то ее руководство наиболее всего подходит на роль субъекта реализации этих целей, в то время как отдельные члены организации и их группы более склонны ориентироваться на достижение текущих экономических целей. Однако иногда и высшее руководство отдает предпочтение своим субъективным интересам по сравнению с долгосрочными целями устойчивого развития организации. В этом случае роль выразителя объективных

общеорганизационных интересов должно брать на себя государство (обычно в лице своих отраслевых, региональных или местных органов управления). Кроме того, в организациях со сложной структурой схема иерархически управляемой динамической системы, показанная на рис.1.2.2, также усложняется. Ведущий и Ведомый утрачивают монолитность и разделяются на множество целеустремленных субъектов, обладающих своими целями и возможностями их достижения, а также критериями оценки эффективности различных способов достижения цели. Поэтому вместо линейной иерархической цепочки возникают более сложные древовидные, ромбовидные и комбинированные иерархические структуры.

Таким образом, необходимость иерархического управления устойчивым развитием организационных систем обусловлена следующими причинами: 1) несовпадением объективных стратегических общеорганизационных целей и субъективных краткосрочных целей членов организации; 2) сложной структурой организации, определяющей необходимость дополнительного согласования общеорганизационных, групповых и индивидуальных интересов.

В предыдущем параграфе перечислены условия гомеостаза производственного предприятия как наиболее характерного представителя организационных систем. Выполнение этих условий, отвечающих долгосрочным стратегическим интересам предприятия, является объективной целью Ведущего. Как показывают социологические исследования, менеджеры предприятия в большинстве случаев не годятся на эту роль. Так, В.Кабалина и С.Кларк (1995:91) выделяют следующие стратегии управления на постсоветских предприятиях: 1) стремление выжить, причем «выживание предприятия рассматривается не с точки зрения его финансовых показателей, а в плане его выживания как производственной единицы и прежде всего как трудового коллектива»; 2) личный интерес, когда «руководители используют ресурсы предприятия для извлечения личной выгоды и подготавливают для себя место в частном секторе»; 3) рыночная стратегия, «ориентированная на получение не столько краткосрочной прибыли, сколько на долговременную прибыльность предприятия». Как видно, первая и особенно третья стратегии содержат элементы условий устойчивого развития. Однако в деятельности большинства руководителей предприятий все же преобладает вторая, субъективно-корыстная стратегия извлечения краткосрочного дохода, в том числе за счет стратегических интересов предприятия. Следует отметить, что даже стремление к выживанию предприятия, не мотивированное корыстными устремлениями менеджеров, объективно не способству-

ет выполнению условий устойчивого развития. Решая задачу выживания в краткосрочной перспективе, предприятия нарушают свои финансовые обязательства перед партнерами, снижают инвестиционную активность, выводят значительную часть своей деятельности из-под государственного контроля, создают благоприятную почву для различного рода злоупотреблений. Поэтому «действия российских предприятий по адаптации к экономическим реформам играют положительную роль с точки зрения выживания народного хозяйства в кризисный период и отрицательную с точки зрения задач построения эффективной экономики» (Кувалдин 2000:17). Таким образом, высшие менеджеры предприятий находятся в позиции Ведомого. Зарубежный опыт также показывает, что менеджеры более заинтересованы в контроле над предприятием и максимизации своего текущего дохода, чем в получении долгосрочных дивидендов.

Гораздо более заинтересованы в устойчивом развитии предприятия его акционеры, чья стратегическая цель – максимизация дивидендов на длительном отрезке времени, поскольку достижение этой цели невозможно при нарушении указанного комплекса условий. Но и собственников предприятия нельзя безоговорочно поместить в позицию Ведущего по следующим причинам. Во-первых, основную долю в собрании акционеров составляют все те же менеджеры и работники предприятия, не осознающие его стратегических целей или сознательно пренебрегающие ими ради текущей выгоды. Как показали Дж.Макконнелл и Г.Серваес, между рыночной стоимостью фирмы и долей “инсайдеров” (внутренних акционеров) в ее акциях наблюдается нелинейная зависимость: стоимость растет при увеличении собственности инсайдеров до 40-50% акций, а затем начинает снижаться (McConnell and Servaes 1990). Во-вторых, даже стратегически ориентированные акционеры (например, внешние инвесторы) зачастую не имеют реальных рычагов воздействия на руководство предприятия, которое в союзе с трудовым коллективом блокирует любые попытки вмешательства «аутсайдеров» в процесс управления. В-третьих, в условиях институционального вакуума, разгула коррупции и преступности новые собственники (и менеджеры) не имеют гарантий собственности и заинтересованы прежде всего в быстром обогащении. Получив за бесценок бывшую государственную собственность, они стремятся не к долгосрочной максимизации прибыли предприятия, а о превращении его имущества в ликвидную форму и последующему переводу денег в зарубежные банки (Перевалов и Басаргин 2000:80).

Поэтому объективно на роль Ведущего в современных россий-

ских условиях более всего подходит государство, промышленная политика которого должна быть направлена на обеспечение условий устойчивого развития предприятий. Для достижения этой цели государственные органы располагают широким спектром воздействий на предприятия, включающим кредитные, налоговые, информационные, протекционистские инструменты, социально-трудовую политику, меры по экологическому нормированию и т.д. вплоть до банкротства предприятий, не отвечающих заданным требованиям. Однако учет государства в качестве субъекта управления усложняет структуру модели ИУДС, делая ее многоуровневой.

Более детально цели, интересы и ресурсы стейкхолдеров организации показаны в таблице 1.2.1 (Гурков 2006:54-77).

Таблица 1.2.1

**Цели, интересы и ресурсы стейкхолдеров**

Тип стейкхолдера	Главные цели	Основные интересы	Располагаемые ресурсы
Потребители	Удовлетворение потребностей	Соотношение цена-качество	Требовательность в отношении качества Настойчивость в переговорах относительно снижения цен
Акционеры	Рост стоимости фирмы Рост прибыли	Соотношение доходность-риск	Возможности по изъятию прибыли в форме дивидендов Возможности по изъятию основного капитала Возможности по смене высшего руководства организации

Менеджеры	Деньги Власть Слава Любопытство Стабильность	Соотношение вознаграждение-усилия	Уровень усилий Знания
Работники	Качество жизни	Соотношение вознаграждение-усилия	Уровень усилий Трудовая и производственная дисциплина Желание осваивать новые знания и умения
Государство	Экономический рост Социальный порядок	Соотношение общественной выгоды и затрат	Налоговый режим для бизнеса Система регулирования деятельности Доступ к государственным средствам

Варианты влияния внешних стейкхолдеров на организацию показаны в таблице 1.2.2.

Таблица 1.2.2 (Гурков 2006:60)

### Влияние внешних стейкхолдеров на организацию

		Уровень интереса	
		Низкий	Высокий
Уровень могущества	Низкий	«Случайные попутчики»	«Любопытствующие»
	Высокий	«Спящие чудовища»	«Ключевые игроки»

«Ключевые игроки» обладают высоким могуществом по отношению к фирме и активно отстаивают свои интересы. Организация должна следовать интересам этих стейкхолдеров. «Спящие чудовища» также обладают большими возможностями влияния, но не активизируют их. Организация должна быть внимательной по отношению

к этим стейкхолдерам и избегать нарушения их интересов, чтобы не вызвать нежелательную негативную активизацию («не разбудить»). «Любопытствующие» проявляют большой интерес к деятельности организации, но не располагают существенными возможностями влияния на нее. По отношению к этому типу стейкхолдеров организация может использовать манипулирование, то есть вовлекать их в процесс принятия решения так, чтобы это было выгодно фирме. «Случайные попутчики» не имеют ни власти над фирмой, ни особого интереса к ее делам. Таких стейкхолдеров достаточно информировать о работе организации на тот случай, если вдруг они окажутся полезными для нее.

Более детально виды ситуаций с участием стейкхолдеров представлены в таблице 1.2.3.

Таблица 1.2.3 (Гурков 2006:61)

**Типичные карты стейкхолдеров –  
особенности, опасности и способы действий**

№	Обозначение	Особенность	Приоритеты	Механизмы действий
1	«Поле битвы»	Большое количество сторонников и противников	Сокращение рисков путем объединения сторонников и разобщения противников	Накапливать ресурсы – «разделяй и властвуй»
2	«Мечта»	Все сторонники, нет оппонентов	Информировать и удовлетворять стейкхолдеров	Создание альянсов и укрепление единства поддержки
3	«Пропавшее дело»	Многочисленные противники	Менять ориентацию каких-либо стейкхолдеров или менять стратегию	Преодолевать сопротивление



4	«Одинокий чемпион»	Один мощный сторонник	Увеличивать базу поддержки	Поддерживать участие, провоцировать интерес иных стейкхолдеров
5	«Одинокий враг»	Один мощный противник	Уменьшать интерес и могущество противника, искать сторонников	Преодолевать сопротивление, искать выгоды от стратегии для других
6	«Ловушка»	Малый интерес многих игроков	Сохранять ситуацию и искать сторонников	Повышать интересы стейкхолдеров через информирование и участие
7	«Стоящее дело»	Много сторонников с малыми силами	Искать сильного сторонника	Организовывать сторонников
8	«Мина»	Много маломощных противников	Поддерживать ситуацию	Информировать
9	«Мечта автократа»	Нет мощных или заинтересованных стейкхолдеров	Поддерживать ситуацию	Направлять и манипулировать

Механизмы согласования интересов внутренних и внешних стейкхолдеров включают: стандартизацию норм взаимоотношений; создание специализированных институтов согласования в составе корпорации; судебную практику разрешения противоречий; внесудебные механизмы разрешения противоречий (Гурков 2006). Стандартизации подлежат отношения с акционерами (стандарты корпоративного управления), с потребителями (стандарты ИСО), с работниками (стандарты социальной ответственности). Наибольшее распространение получили стандарты ИСО, подробно обсуждаемые далее в работе. Внутрикорпоративные институты согласования получили наибольшее распространение в Германии (наблюдательные

и трудовые советы). В российской практике также существовали Советы трудового коллектива, ныне практически не используемые. Судебная практика разрешения конфликтов широко применяется во всех цивилизованных странах, активно используется она и в России. Однако гораздо более присущи российскому менталитету внесудебные способы разбирательства, включающие весьма широкий спектр методов – от переговоров до стрельбы.

Итак, при анализе процессов управления сложными системами с участием людей (в том числе организациями) недостаточно рассматривать единственный монолитный субъект управления. Более адекватно говорить о специфическом субъекте иерархического управления – структурированной системе со своими внутренними связями и отношениями, которая лишь условно может рассматриваться как единое целое по отношению к объекту управления. Эта управляющая система имеет иерархическую структуру, и в рамках предлагаемой концепции считается, что верхний уровень управления преследует в первую очередь общесистемные цели, хотя может иметь и собственные. При таком подходе организация трактуется как иерархически управляемая динамическая система.

### **1.3. Методы иерархического управления организациями**

Иерархическая структура сложных систем с участием людей порождает необходимость специфических методов иерархического управления. Анализ этих методов основывается на изучении социальных отношений и форм власти.

В фундаментальной работе П. Сорокина (2000) выделены три типа социальных отношений: принудительные, договорные и семейственные.

Для проведения классификации Сорокин использует следующие признаки («модальности») социального взаимодействия: 1) одностороннее или двустороннее взаимодействие; 2) экстенсивность; 3) интенсивность; 4) продолжительность и непрерывность; 5) направленность; 6) организованность или неорганизованность взаимодействия.

Отношения могут быть симметричными или иерархическими: при одностороннем взаимодействии скорее можно говорить о воздействии субъекта на объект и соответствующей односторонней зависимости, в то время как двустороннее взаимодействие подразумевает взаимную зависимость и равноправие субъектов.

Экстенсивность взаимодействия Сорокин предлагает измерять

как долю действий и чувств, связанных с этим взаимодействием, в общем объеме физической и психической деятельности субъекта. Предельным случаем является тотальная экстенсивность, при которой данное взаимодействие определяет деятельность субъекта практически полностью (например, отношения между матерью и грудным ребенком, отношения между влюбленными). Однако в большинстве случаев социальные отношения ограничены по экстенсивности и затрагивают лишь небольшую часть деятельности субъекта (например, профессиональную).

Интенсивность взаимодействия определяется тем значением, которое это взаимодействие имеет в жизни субъекта. Отношения между учителем и учеником могут быть сугубо формальными, а могут быть всепоглощающими, составляющими смысл жизни ученика. Объединяя признаки экстенсивности и интенсивности, можно получить более полную характеристику типа отношений между субъектами.

Понятную роль играют продолжительность и непрерывность взаимодействия. Большинство взаимодействий являются эпизодическими и не оставляют заметного следа в жизни субъекта, однако некоторые сохраняют свое значение в течение весьма длительного периода, возможно, всей жизни, а иногда действуют и после смерти одного из субъектов взаимодействия.

С точки зрения направленности Сорокин различает солидарные, антагонистические и смешанные взаимодействия. В случае солидарности цели и интересы субъектов совпадают или хотя бы согласуются, поэтому они могут объединять усилия. В случае антагонизма, напротив, устремления субъектов противоречат друг другу, что приводит к противостоянию и вражде. Наиболее распространен смешанный тип, при котором некоторая часть целей и интересов субъектов совпадает, а другая антагонистична: в этом случае возможно нахождение определенного компромисса.

Наконец, взаимодействие считается организованным, если оно имеет прочную институциональную основу, и неорганизованным в противном случае. В частности, институциональная система подразделяет множество человеческих поступков на законные, рекомендуемые и запрещенные. Сорокин подчеркивает, что организованность взаимодействия всегда влечет социальную дифференциацию и стратификацию.

Семейственный (*familistic*) тип социальных отношений определяется Сорокиным как следующее сочетание модальностей взаимодействия: тотальное, высокоинтенсивное, солидарное, длительное. В этом случае «личности нуждаются друг в друге, ищут друг друга»

и связаны в одно целое не по принуждению, не по соображениям выгоды и не по договору, а просто ради того, чтобы быть вместе». Примерами могут служить отношения между любящими друг друга членами семьи, особенно матерью и ребенком, между настоящими друзьями, влюбленными.

Договорной (contractual) тип отношений характеризуется следующим образом: четкое ограничение по экстенсивности, интенсивности и продолжительности, определяемых договором, солидарность в рамках договорных отношений. При договорных отношениях «другая сторона имеет значение не столько как союзник, помощник, товарищ и не сама по себе, сколько как средство или орудие, с помощью которого можно получить какую-то услугу или удовольствие, извлечь пользу или выгоду». Формула договорных отношений – «ты мне, я тебе». Как правило, договоры заключаются в письменной форме и тщательно прорабатываются с участием профессиональных юристов. Это самая распространенная форма отношений в условиях рыночной экономики.

Принудительный (compulsory) тип отношений в первую очередь антагонистичен по своей природе. Сорокин определяет его следующим образом: «Когда одна из взаимодействующих сторон навязывает другой определенную манеру поведения, определенные обязанности и функции (вопреки желаниям и склонностям этой другой стороны и субъективно и объективно не ради ее благополучия) и заставлять их только с помощью физического и психологического принуждения, то такое социальное взаимоотношение принудительно по своей сути». Характерные примеры – отношения между господином и рабом, победителем и побежденным, грабителем и жертвой.

Сорокин отмечает, что в реальности имеют место некоторые смешанные формы, представляющие собой определенное сочетание охарактеризованных чистых типов. Однако при этом в любой социальной группе один из типов является преобладающим. Например, в семейных, дружеских, религиозных группах преобладают семейственные отношения, в финансовых и торговых организациях – договорные, в военных и пенитенциарных – принудительные (Сорокин 2000:503-522).

В своем анализе оснований власти Дж.Френч и Б.Рэйвен описали пять форм власти: принудительную, вознаграждающую, легитимную, референтную и экспертную. Принудительная власть добывается подчинения объекта насильственным путем вплоть до применения физической силы. Вознаграждающая власть предлагает денежную или иную компенсацию в обмен на выполнение определенных условий.

Основой легитимной власти выступает социальная роль ее субъекта, официальные полномочия которого признаются объектом подчинения. Референтная власть зиждется на симпатии, уважении или преклонении. Наконец, экспертная власть обусловлена специальными знаниями ее субъекта (French and Raven 1959).

Специалисты по теории организаций выделяют три группы методов управления:

1) принуждение, при котором субъект заставляет объекта способствовать достижению цели субъекта, не принимая во внимание цели и интересы объекта;

2) побуждение, при котором субъект создает объекту такие условия, что ему выгодно способствовать достижению цели субъекта и невыгодно обратное;

3) убеждение, при котором субъектно-объектное взаимодействие организуется так, что объект добровольно и заинтересованно стремится к достижению цели совместно с субъектом управления, то есть их отношения приобретают субъектно-субъектный характер (Фатхудинов и Сивкова 1999).

Триада методов иерархического управления «принуждение – побуждение – убеждение» является упорядоченной: 1) по убыванию жесткости воздействия Ведущего на Ведомого; 2) по убыванию необходимой для реализации метода степени зависимости Ведомого от Ведущего; 3) по возрастанию «прогрессивности» управленческой парадигмы. Вместе с тем, стремление к использованию убеждения не исключает необходимости прибегать к побуждению и даже принуждению в ряде конкретных практических ситуаций.

Соотнесение методов принуждения, побуждения и убеждения с традиционным и современным подходами к управлению приводят к следующей схеме (рис.1.3.1):



Рис.1.3.1. Соответствие между методами иерархического управления и подходами к управлению

Левая граница диапазона соответствует полному отсутствию сво-

боды объекта, правая определяется ограничениями решаемой задачи. Конечно, границы между методами являются условными и носят скорее интервальный, чем точечный характер. Это особенно относится к методу побуждения, суть которого заключается в стимулировании объекта, поскольку элементы стимулирования встречаются и при принуждении (особенно в негативной форме наказаний), и при убеждении (применительно к потребностям высокого уровня). Поэтому элементы побуждения используются и при традиционном, и при современном подходах к управлению. Вместе с тем, методы принуждения и убеждения несовместимы и потому не пересекаются: первый всецело принадлежит традиционному подходу, в то время как второй определяет тенденции развития современного подхода. В реальной управленческой практике настоящего времени в России можно встретить элементы обоих подходов и всех трех методов управления: при этом основной объем, по-видимому, занимают методы побуждения, существенно используется также принуждение, в то время как убеждение встречается лишь эпизодически (много ли студентов посещают занятия из чистой любви к знаниям?). При переходе к постиндустриальному обществу удельный вес сначала принуждения, а затем и побуждения снижается, а убеждения увеличивается, что уже можно наблюдать в ряде западных стран. В идеале управление должно быть всецело основано на убеждении, хотя в реальной жизни это едва ли возможно.

Метод убеждения наименее изучен в социологическом и социально-психологическом аспектах и труднее всего поддается формализации. Его суть заключается в преобразовании иерархических отношений в кооперативные, в превращении Ведомого из подчиненного в союзника Ведущего. Однако кооперации должно предшествовать иерархическое воздействие. Как отмечал выдающийся социальный психолог Курт Левин, «представляется неоспоримым тот факт, что людей нельзя научить демократии с помощью авторитарных методов. Но столь же верно и то, что демократический лидер, который хочет изменить групповую атмосферу на демократическую, должен обладать властью и должен использовать ее для активного переобучения» (Левин 2000:170).

Более детальную характеристику принуждения, побуждения и убеждения дает В.Г.Ледяев, который трактует их как формы власти (Ледяев 2000:285-291). Принуждение имеет место при существенном несовпадении интересов субъекта и объекта; в этом случае субъект обеспечивает подчинение объекта путем угрозы применения негативных санкций. Многие авторы дают сходные определения при-

нуждения: “способность А заставить Б действовать в соответствии со своими намерениями и вопреки желаниям Б путем негативного воздействия на Б для достижения его повиновения или путем угрозы негативного воздействия на Б, если тот не повинуется” (De Crespigny 1968:196); «принудительная власть О над П обусловлена ожиданием П наказания со стороны О в случае неповиновения» (French and Raven 1959:157). Таким образом, принуждение характеризуется следующими моментами: 1) А и Б имеют существенно различные (или даже антагонистические) предпочтения по данному поводу, поэтому Б не заинтересован в выполнении команды А; 2) однако подчинение является для Б меньшим злом, чем неподчинение, поскольку в случае реализации А негативных санкций Б потеряет больше; 3) А предпочитает не приводить свою угрозу в исполнение, хотя и способен сделать это (Ледаев 2000:286).

В случае побуждения главную роль играет вознаграждение, которое объект получает от субъекта в обмен на подчинение. Э.де Креспиньи определяет побуждение как “способность А заставить Б действовать в соответствии со своими интенциями (так как он иначе не стал бы действовать) путем обеспечения Б тем, что его [Б] привлекает с целью достижения его повиновения, или выполняя обещание, когда Б повинуется” (De Crespigny 1968:198). Как и при принуждении, при побуждении объект нуждается во внешнем стимуле, без которого он не стал бы выполнять команды субъекта. Однако если при принуждении подчинение достигается угрозой применения негативных санкций (наказания), то побуждение означает обещание вознаграждения (поощрения). Хотя формально эти методы воздействия можно отождествить, позитивные и негативные санкции все же различаются по ряду аспектов. Во-первых, принуждение основано на силовых ресурсах и обычно ассоциируется с насилием, применяемым властью, в то время как побуждение использует утилитарные ресурсы и носит экономический характер. Во-вторых, существенно различается психологическая реакция объекта: реакцией на принуждение обычно является страх, тревога и сопротивление, а на побуждение – надежда и сотрудничество. Поэтому побуждение лучше обеспечивает легитимацию выдвигаемых требований, но зато требует большей затраты ресурсов (Ледаев 2000:288-290). Точную характеристику побуждению дал А.Смит: «...человек постоянно нуждается в помощи своих ближних, но тщетно было бы ожидать ее лишь от их расположения. Он скорее достигнет своей цели, если обратится к их эгоизму и сумеет показать им, что в их собственных интересах сделать для него то, что он требует от них» (Смит 1962:27-28).

Наконец, в случае убеждения решающую роль играют аргументы, предъявляемые субъектом и добровольно принимаемые объектом: «В ситуациях, где А представляет аргументы, обращения или увещевания, которые после самостоятельной оценки их содержания с точки зрения своих целей и ценностей принимаются Б в качестве основы своего поведения, А успешно осуществляет власть над Б в форме убеждения» (Wrong 1988:32).

Таким образом, в случае убеждения отсутствуют как угроза негативных санкций, так и внешние мотивирующие стимулы: объект сам принимает решение согласиться с предлагаемыми ему субъектом аргументами (Ледаев 2000:291).

В авторской концепции принуждение, побуждение и убеждение рассматриваются как основные методы иерархического управления для обеспечения устойчивого развития. Их трактовка несколько отличается от представленной выше, хотя и основывается на ней.

В случае принуждения субъект верхнего уровня ставит субъекта нижнего уровня в такие условия, в которых последний вынужден применять желаемую для первого стратегию. Такое воздействие носит насильственный характер и осуществляется на административно-законодательной основе. Интересы субъекта нижнего уровня при этом совершенно не учитываются, т.е. отношения между субъектами имеют субъектно-объектную природу. Если описать отношения между субъектами как иерархическую игру Ведущего и Ведомого, то принуждение означает воздействие Ведущего на множество допустимых стратегий Ведомого.

В случае побуждения Ведущий создает условия, в которых Ведомому более выгодно применять желаемую для Ведущего стратегию, нежели не делать этого. Этот метод имеет природу экономического стимулирования и обычно реализуется посредством механизма штрафов и поощрений с обратной связью. Здесь частично учитываются интересы Ведомого. При теоретико-игровом моделировании побуждение означает воздействие Ведущего на функцию выигрыша Ведомого.

В случае убеждения Ведомый добровольно и осознанно разделяет позицию Ведущего и придерживается желаемой для Ведущего стратегии (которая становится желаемой и для самого Ведомого). Этот метод имеет социально-психологическую природу и придает отношениям Ведущего и Ведомого субъектно-субъектный характер. В иерархической теоретико-игровой модели убеждение означает переход Ведущего и Ведомого к кооперации и совместную максимизацию ими суммарной функции выигрыша возникшей коалиции.



Принуждение и побуждение могут сопровождаться манипуляцией Ведущего, т.е. намеренным искажением передаваемой Ведомому информации в корыстных целях. В свою очередь, Ведомый может прибегнуть к контригре, т.е. передаче Ведущему искаженной информации о реально применяемых стратегиях. Контроль за нарушениями со стороны Ведомого требует от Ведущего дополнительных затрат, растущих пропорционально строгости его требований к стратегии Ведомого. В случае убеждения манипуляция и контригра не используются.

Приведем сначала несколько условный, но наглядный пример: иерархические отношения между преподавателем и студентом. Цель преподавателя (Ведущего) – посещение занятий студентом (Ведомым). Метод принуждения: преподаватель объявляет студенту о том, что в случае пропусков занятий тот не получит зачет. Метод побуждения: преподаватель предлагает студенту аккуратно посещать занятия и проявлять на них активность в обмен на «автоматический» зачет. Наконец, в случае метода убеждения студент сам спрашивает себя: зачем было поступать в университет, если не ходить на занятия? В этом случае от преподавателя требуется лишь создание условий для плодотворной работы студента, а нажим или торг не нужны.

Теперь рассмотрим в качестве Ведущего начальника отдела продаж предприятия, в качестве Ведомого – менеджера по продажам на повременной оплате, в качестве объекта управления – рынок продаж продукции предприятия. Цель Ведущего – обеспечить ежемесячный объем продаж на сумму не меньше заданной. Принуждение состоит в том, что, скажем, при двукратном нарушении указанного требования менеджера увольняют. При побуждении устанавливается система стимулирования, в силу которой при перевыполнении плана продаж менеджер премируется, а при невыполнении – штрафуются. При убеждении менеджер добровольно стремится выполнить и перевыполнить план по продажам, поскольку его устраивает социально-психологическая атмосфера на предприятии, перспективы карьерного роста, возможности повышения квалификации и т.п. Манипуляция может заключаться в отказе выплатить менеджеру обещанную премию (например, ссылаясь на финансовый кризис). Контригра менеджера – завышение объема продаж в отчетах, для обнаружения которого требуется специальная ревизия. Итоговая характеристика методов иерархического управления приведена в таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1

**Характеристика методов иерархического управления**

	Принуждение	Побуждение	Убеждение
Общее описание метода	Насильственное обеспечение выбора Ведомым стратегии, желаемой для Ведущего	Желаемая для Ведущего стратегия более выгодна Ведомому, чем нежелательные	Ведомый добровольно и осознанно выбирает стратегию, желаемую для Ведущего
Природа воздействия	Административно-законодательное	Экономическое	Социально-психологическое
Тип отношений	Субъектно-объектные	Субъектно-объектные с частичным учетом интересов Ведомого	Субъектно-субъектные
Математическая формализация	Воздействие Ведущего на множество допустимых стратегий Ведомого	Воздействие Ведущего на функцию выигрыша Ведомого	Переход Ведущего и Ведомого к кооперации для совместной максимизации суммарной функции выигрыша

Формальные модели иерархического управления разрабатываются в рамках трех основных направлений: информационной теории иерархических систем, теории активных систем и теории контрактов. Первое направление (Гермейер 1976; Кукушкин 1972; Горелик и Кононенко 1982; Кононенко и др. 1991) посвящено исследованию специфической формы конфликтного взаимодействия, которая возникает при наличии отношений иерархии в модели игры в нормальной форме

$$G = \langle N, \{X_i\}_{i \in N}, \{u_i\}_{i \in N} \rangle. \quad (1.3.1)$$

Здесь  $N = \{1, \dots, n\}$  - конечное множество игроков, то есть действующих субъектов, имеющих свои цели и интересы и определенные возможности для их реализации;  $X_i$  - множество стратегий  $i$ -го игрока, то есть допустимых вариантов поведения субъекта;  $x_i \in X_i$  - конкретная стратегия  $i$ -го игрока из множества допустимых; после того, как все игроки выберут свои допустимые стратегии, возникает ситуация (исход игры)  $x = (x_1, \dots, x_n)$ . На множестве всех ситуаций  $X$  определена функция выигрыша каждого игрока – отображение  $u_i : X \rightarrow R$ . Значение функции выигрыша  $u_i(x)$  описывает выигрыш игрока  $i$  в ситуации  $x$ , который каждый игрок стремится максимизировать.

Рассмотрим случай двух игроков, один из которых (Ведущий, обозначим его индексом  $L$ ) имеет иерархическое преимущество перед другим (Ведомым, обозначим его индексом  $F$ ). С точки зрения теоретико-игровой формализации иерархия означает, что Ведущий имеет право первого хода: он выбирает свою стратегию  $x_L \in X_L$  и сообщает об этом Ведомому. В этих предположениях естественно ожидать, что экономически рациональный Ведомый выберет свою стратегию из множества оптимальных реакций

$$R_F = \{x_F \in X_F : u_F(x_L, x_F) \geq u_F(x_L, y_F) \forall y_F \in X_F\} \quad (1.3.2)$$

Дальнейшие действия Ведущего зависят от того, как он оценивает отношение к нему Ведомого. Если Ведущий рассчитывает на благожелательность Ведомого, то он может выбирать свою стратегию  $x_L \in X_L$  из условия

$$u_L(x_L, x_F) = \sup_{y_L \in X_L} \sup_{y_F \in R_F(x_L)} u_L(y_L, y_F) = S_L. \quad (1.3.3)$$

Множество ситуаций  $(x_L, x_F)$ , удовлетворяющих условию (1.3.3), называется множеством равновесий по Штакельбергу в игре (1.3.1). Если же Ведущий считает Ведомого неблагоприятным (или просто проявляет осторожность), то он выбирает свою стратегию  $x_L \in X_L$  из условия

$$u_L(x_L, x_F) = \sup_{y_L \in X_L} \inf_{y_F \in R_F(x_L)} u_L(y_L, y_F) = \gamma_L. \quad (1.3.4)$$

Такой принцип выбора называется принципом гарантированного результата (Гермейер 1976), а множество ситуаций  $(x_L, x_F)$ , удовлетворяющих условию (1.3.4), естественно называть множеством равновесий по Гермейеру в игре (1.3.1) (Угольницкий 2005).

Предположим теперь, что к моменту своего выбора Ведущий будет иметь информацию о выборе Ведомого  $x_F \in X_F$ . Очевидно, что в этом случае стратегия Ведущего становится уже не постоянной вели-

чиной  $x_L \in X_L$ , а функцией  $\tilde{x}_L = x_L(x_F)$ , которая каждому значению  $x_F \in X_F$  сопоставляет значение  $x_L \in X_L$ , т.е.  $\tilde{x}_L : X_F \rightarrow X_L$ . Таким образом, множество стратегий Ведущего есть множество функций (отображений)  $\tilde{X}_L = \{\tilde{x}_L = x_L(x_F) : X_F \rightarrow X_L\}$ , а ход состоит в выборе и сообщении Ведомому некоторой стратегии

$\tilde{x}_L \in \tilde{X}_L$ . Тогда максимальный гарантированный результат Ведущего можно записать в виде

$$\tilde{\gamma}_L = \sup_{\tilde{x}_L \in \tilde{X}_L} \inf_{x_F \in \tilde{R}_F(\tilde{x}_L)} u_L(\pi(\tilde{x}_L, x_F)). \quad (1.3.5)$$

Здесь множество оптимальных реакций Ведомого  $\tilde{R}_F(\tilde{x}_L)$  определяется аналогично (1.3.2):

$$\tilde{R}_F(\tilde{x}_L) = \text{Arg sup}_{x_F \in X_F} u_F(x_L(x_F)).$$

Заметим, что функция  $u_L(x_L, x_F)$  определена на множестве  $X_L \times X_F$  исходных постоянных стратегий игроков. Поскольку теперь первый аргумент  $u_L$  есть отображение  $\tilde{x}_L \in \tilde{X}_L$ , то приходится вводить специальную функцию проекции  $\pi: \tilde{X}_L \times X_F \rightarrow X_L \times X_F$ , которая как бы «возвращает» функцию  $u_L$  к исходной области определения (Горелик и Кононенко 1982).

Рассмотрим еще одну модификацию игры. Пусть теперь стратегия Ведомого совпадает со стратегией Ведущего из предыдущего варианта игры, а Ведущий по-прежнему будет иметь информацию о выборе Ведомого. Тогда, очевидно, множество допустимых стратегий Ведомого есть

$$\tilde{X}_F = \{\tilde{x}_F = x_F(x_L) : X_L \rightarrow X_F\},$$

а для определения множества допустимых стратегий Ведущего понадобятся уже две «волны»:

$$\tilde{\tilde{X}}_L = \{\tilde{\tilde{x}}_L = x_L(\tilde{x}_F) : \tilde{X}_F \rightarrow X_L\},$$

т.е. каждому выбранному Ведомым отображению  $\tilde{x}_F \in \tilde{X}_F$  Ведущий сопоставляет некоторое значение  $x_L \in X_L$  по правилу

$$\tilde{\tilde{x}}_L = x_L(\tilde{x}_F).$$

Ход Ведущего состоит в выборе и сообщении Ведомому сложной стратегии-отображения

$$\tilde{\tilde{x}}_L = x_L(\tilde{x}_F) = x_L(x_F(x_L)) \text{ из множества } \tilde{\tilde{X}}_L.$$

Тогда максимальный гарантированный результат Ведущего есть

$$\tilde{\tilde{\gamma}}_L = \sup_{\tilde{\tilde{x}}_L \in \tilde{\tilde{X}}_L} \inf_{\tilde{x}_F \in \tilde{R}_F(\tilde{\tilde{x}}_L)} u_L(\pi(\tilde{\tilde{x}}_L, \tilde{x}_F)) \quad (1.3.6)$$

где множество оптимальных реакций Ведомого имеет вид

$$\tilde{R}_F(\tilde{x}_L) = \text{Arg sup}_{\tilde{x}_F \in \tilde{X}_F} u_F(\pi(x_L(\tilde{x}_F)), \tilde{x}_F)$$

$\pi: \tilde{X}_L \times \tilde{X}_F \rightarrow X_L \times X_F$  - проекция.

Придется ли при более сложных “рефлексивных” предположениях увеличивать количество “волн” у стратегий до бесконечности? Оказывается, что от этого избавляет следующий результат (Кукушкин 1972). Обозначим рассмотренные варианты игр с максимальными гарантированными результатами Ведущего (1.3.4), (1.3.5), (1.3.6) соответственно  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$  (Гермейер 1976), тогда

$$\gamma_L^{2k} = \tilde{\gamma}_L, \gamma_L^{2k+1} = \tilde{\gamma}_L, k \geq 2, \quad (1.3.7)$$

$\gamma_L^m$  - максимальный гарантированный результат Ведущего в игре  $\Gamma_m$ ,  $m > 3$ . Таким образом, усложнение рефлексивных предположений не дает Ведущему ничего принципиально нового. Кроме того, имеет место важный результат  $\gamma_L \leq \tilde{\gamma}_L \leq \tilde{\gamma}_L$ , который легко интерпретировать, исходя из соотношения информированности Ведущего и Ведомого (Горелик и Кононенко 1982).

В теории активных систем (Бурков 1977; Бурков и Новиков 1999; Новиков и Петраков 1999) изучаются свойства механизмов функционирования социально-экономических систем, обусловленные активностью их элементов. Модель активной системы задается перечислением следующих параметров: состав (совокупность элементов активной системы), структура (совокупность связей между элементами), порядок функционирования (последовательность получения информации и принятия решений элементами), число периодов функционирования (статическая или динамическая модель), предпочтения элементов системы (критерии оптимальности), допустимые множества стратегий элементов системы, информированность элементов на момент принятия решения.

Набор указанных параметров определяет механизм функционирования активной системы в широком смысле как совокупность правил и процедур взаимодействия ее элементов. В узком смысле под механизмом управления понимается совокупность правил принятия решений элементами активной системы при заданных составе, структуре и т.д.

Базовая модель активной системы имеет древовидную структуру, где на верхнем уровне управления расположен выделенный элемент – Центр, на нижнем – активные элементы. Пусть  $y = (y_1, \dots, y_n) \in A$  - вектор стратегий активных элементов, компоненты которого они могут выбирать независимо. Предпочтения  $i$ -го активного элемента от-

ражает его целевая функция  $f_i(y, \eta)$ , где  $\eta \in U$  - управление Центра. Множество решений игры активных элементов  $P(\eta)$  определяется как множество равновесных при заданном управлении Центра  $\eta \in U$  стратегий активных элементов. В одноэлементной активной системе  $P(\eta)$  есть множество точек максимума целевой функции активного элемента, а в многоэлементной - некоторым множеством теоретико-игровых решений (например, равновесий по Нэшу).

Задача управления активной системой заключается в поиске допустимого управления, максимизирующего целевую функцию Центра:

$$\eta^* \in \underset{\eta \in U}{\text{Arg max}} \underset{y \in P(\eta)}{\text{max}} \Phi(\eta, y)$$

в предположении благожелательности активных элементов либо

$$\eta^* \in \underset{\eta \in U}{\text{Arg max}} \underset{y \in P(\eta)}{\text{min}} \Phi(\eta, y)$$

в предположении их неблагоприятности.

Выделяются два частных случая задачи управления активной системой: задача стимулирования и задача планирования. В задаче стимулирования стратегией Центра является выбор механизма стимулирования – набора функций  $\sigma(y) = \{\sigma_i(y)\}$ , ставящей в соответствие действиям активных элементов величины вознаграждений, получаемых от Центра:  $\eta = \sigma(y)$ . В задаче планирования стратегией Центра является выбор множества  $S$  возможных сообщений активных элементов и механизма планирования  $\pi : S \rightarrow X$ , ставящего в соответствие сообщениям элементов Центру о неизвестных ему существенных параметрах системы назначаемый активным элементам вектор планов.

Основными направлениями исследований является изучение механизмов стимулирования в детерминированных активных системах, в активных системах с вероятностной и нечеткой неопределенностью (Новиков 2007; Новиков и Цветков 2000 и др.), их приложения к различным предметным областям (Бурков и др. 2008).

В теории контрактов, называемой также теорией стимулов (contract theory, theory of incentives) базовой моделью служит модель принципал-агент, отражающая иерархическое взаимодействие субъектов с асимметричной информацией (Bolton and Dewatripont 2004; Laffont and Martimort 2002; Fudenberg and Tirole 1991; Salanie 1997)<sup>1</sup>. Выделяются три основные модификации этой модели: модель неблагоприятного отбора (adverse selection) и ее разновидность – модель информативных сигналов (signaling), модель постконтрактного оп-

<sup>1</sup> Используются также «Конспекты лекций по теории контрактов» А.Бремзена и С.Гуриева (электронный ресурс).

портунистического поведения или морального риска (*moral hazard*), модель неполных контрактов (*nonverifiability*).

В модели *adverse selection* в момент заключения контракта принципал не знает некоторых существенных параметров агента (тип агента). Проблема заключается в выявлении информации и предложении агенту оптимального контракта, зависящего от его типа. В модели *signaling* агент может послать принципалу сообщение о своем типе, естественно, не бесплатно, то есть это сообщение является стратегией агента. Наиболее важной является модель *moral hazard*, в которой агент может предпринимать неизвестные принципалу действия уже после заключения контракта. Задача принципала заключается в том, чтобы побудить агента действовать приемлемым для принципала образом. В модели *nonverifiability* все переменные известны обоим участникам, но не могут быть записаны в контракт, так как их значения не могут быть верифицируемы судом (арбитром). В этом случае существенное значение приобретает возможность двустороннего пересмотра контракта (*renegotiation*) и проектирования специальных механизмов взаимодействия (*mechanism design*). Разумеется, что все модели допускают обобщение на случай нескольких участников и исследованы в различных постановках (дискретных и непрерывных, детерминированных и стохастических и т.п.), при этом получен ряд важных математических результатов.

Все три направления близки друг другу, основаны на теоретико-игровых постановках и формализуют метод побуждения – воздействие ведущего игрока (принципала, Центра) на целевую функцию ведомого игрока (агента, активного элемента).

Целостное отражение концепции иерархического управления устойчивым развитием возможно лишь в рамках динамической модели, описывающей процесс развития иерархически управляемой системы и позволяющей учесть требование динамической согласованности (Угольницкий 2010). В настоящей работе рассмотрим теоретико-игровую модель иерархического управления устойчивым развитием в простейшей статической форме, включающей двух игроков: Ведущего (субъект управления верхнего уровня, обозначается индексом  $L$ ) и Ведомого (субъект управления нижнего уровня, обозначается индексом  $F$ ). Модель имеет вид:

$$J_L(p, q, u) = g_L(p, q, u) - M\rho(u, U_L) \rightarrow \max \quad (1.3.8)$$

$$p \in P, q \in Q; \quad (1.3.9)$$

$$J_F(p, q, u) \rightarrow \max \quad (1.3.10)$$

$$u \in U(q). \quad (1.3.11)$$

Вектор управляющих воздействий Ведущего разбивается на два подвектора:  $p$  – вектор управлений побуждения,  $q$  – вектор управлений принуждения;  $P, Q$  – соответствующие множества допустимых управлений. Таким образом, стратегия Ведущего есть пара  $(p, q)$ . Через  $u$  обозначается стратегия Ведомого (воздействие на объект управления),  $U(q)$  – множество допустимых стратегий Ведомого. Посредством управлений побуждения  $p$  Ведущий воздействует на функцию выигрыша Ведомого  $J_F$ , а посредством управлений  $q$  – на его множество допустимых стратегий  $U(q)$ . Условие  $u \in U_L$  выражает требование гомеостаза, поскольку требование гомеостаза  $\forall t \in [0, T]: x(t) \in X_L$  для управляемой динамической системы  $dx/dt = f(x(t), u(t))$  при естественных условиях эквивалентно требованию  $\forall t \in [0, T]: u(t) \in U_L$ . Для обеспечения его реализации

вводится функция  $\rho(u, U_L) \begin{cases} = 0, u \in U_L \\ > 0, u \notin U_L \end{cases}$ , и штрафная сколь угодно

большая константа  $M$ . Таким образом, максимизация функции выигрыша Ведущего  $J_L$  возможна лишь при выполнении условия гомеостаза  $u \in U_L$ . Частная функция выигрыша Ведущего без учета требования гомеостаза обозначена через  $g_L$ . В модели используются два предположения:

A1.  $U_L \neq \emptyset$ .

A2.  $\exists p \in P, q \in Q: \text{Arg sup}_{u \in U(q)} J_F(p, q, u) \setminus U_L \neq \emptyset$ .

Первая гипотеза означает, что условие гомеостаза достижимо. Согласно второй гипотезе, при некоторых значениях управляющих воздействиях Ведущего (например, при  $p=q=0$ ) интересы Ведомого ведут к нарушению требования гомеостаза, поэтому иерархическое управление устойчивым развитием необходимо.

Решениями иерархической игры (1.3.8)-(1.3.10) служат три вида равновесий (Угольницкий 2005).

*Определение 1.* Равновесием принуждения в игре (1.3.8)-(1.3.10) называется ситуация  $(p, q, u)$  такая, что

$$J_L(p, q, u) \geq \gamma_L^{comp}(p), \quad (1.3.11)$$

$$\gamma_L^{comp}(p) = \sup_{s \in Q} \inf_{z \in R(p, s)} J_L(p, s, z), p \in P;$$

$$R(p, q) = \text{Arg sup}_{u \in U(q)} J_F(p, q, u).$$



*Определение 2.* Равновесием побуждения в игре (1.3.8)-(1.3.10) называется ситуация  $(p, q, u)$  такая, что

$$J_L(p, q, u) \geq \gamma_L^{imp}(q), \quad (1.3.12)$$

$$\gamma_L^{imp}(q) = \sup_{r \in P} \inf_{u \in R(r, q)} J_L(r, q, u).$$

*Определение 3.* Равновесием убеждения в игре (1.3.8)-(1.3.10) называется ситуация  $(p, q, u)$  такая, что

$$(J_L + J_F)(p, q, u) = \sup_{r \in P} \sup_{s \in Q} \sup_{z \in U(s)} (J_L + J_F)(r, s, z). \quad (1.3.13)$$

Таким образом, методы иерархического управления формализуются как решения иерархической игры (равновесия принуждения, побуждения, убеждения). Если Ведомый благожелателен к Ведущему, то  $\inf$  в формулах (1.3.11) и (1.3.12) можно заменить на  $\sup$ , а неравенство – на строгое равенство.

## ГЛАВА 2. ПРИНЦИПЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Менеджмент качества является ведущим направлением теории и практики организационного управления, начиная с 1950-х годов. Базовыми положениями менеджмента качества выступают маркетинговая философия, учет интересов различных стейкхолдеров организации, установка на убеждение и сотрудничество, принцип постоянного улучшения качества, системно-кибернетический подход, применение статистических методов и информационных технологий. Формализацией положений менеджмента качества занимается Международная организация по стандартизации, разрабатывающая официальные стандарты ИСО серии 9000. Сертификация предприятий на соответствие их систем менеджмента стандарту ИСО-9001 практически является необходимым условием признания состоятельности предприятия как хозяйствующего субъекта. «Ядром» менеджмента качества является процессный подход, согласно которому деятельность организации следует рассматривать как систему взаимосвязанных процессов, преобразующих входы в выходы с использованием ресурсов и управляющих воздействий. Для характеристики процессов разрабатываются показатели их функционирования и устанавливаются их желаемые (плановые) значения. Соответствие фактических значений показателей процессов плановым значениям означает выполнение условий гомеостатического развития организации. Для успешного функционирования организации необходимо достижение определенного компромисса интересов всех ассоциированных с организацией субъектов (стейкхолдеров). Существенным требованием к такому компромиссу служит его динамическая согласованность (устойчивость). Это требование означает, что на протяжении всего периода реализации компромисса никому из его участников не выгодно отклоняться от первоначально достигнутого соглашения. Выполнение условий гомеостаза и динамически согласованного компромисса трактуется как устойчивое развитие организации.

### 2.1. Менеджмент качества и стандарты ИСО серии 9000

Прошрое столетие ознаменовалось активным развитием теории и практики организационного управления, обусловленным стреми-

тельным ростом масштабов промышленного производства, сферы торговли и услуг, государственного сектора. Стала очевидной необходимость рационализации и стандартизации процессов производства и управления. Патриархальные способы руководства предприятиями остались в прошлом, на смену им пришли научные методы организации труда.

В первой половине XX века доминирующее место в теории организаций занимало классическое направление, связанное в первую очередь с именами Ф.У.Тейлора, Г.Форда, А.Файоля, Г.Эмерсона (Управление 1992). В рамках этого направления было выработано представление о «производственном механизме», элементами «винтиками» которого являются рабочие и служащие. Основными достижениями классической теории организационного управления следует считать:

- структуризацию и характеристику основных функций управления (планирование, организация, руководство, контроль);
- детальную разработку линейной и линейно-функциональной организационной структуры;
- представление о производственном процессе как совокупности операций, подлежащих анализу и оптимизации;
- разработку систем экономической мотивации;
- внимание к проблеме контроля качества.

Классическая теория была существенно дополнена школой «человеческих отношений» (Э.Мэйо, Ф.Ротлисбергер, М.П.Фоллетт), уделявшей основное внимание изучению интересов работников организаций, их мотивации, возникновению и взаимодействию в составе организации различных групп.

После Второй мировой войны теория и практика организационного управления вышли на новый уровень, основанный на представлении о «производственном организзме». Возник целый ряд новых направлений: теория менеджмента П.Друкера (Друкер 2008), эффективный менеджмент (Малик 2008), доказательный менеджмент (Пфеффер и Саттон 2008), бережливое производство (Вумек и Джонс 2005), управление жизненным циклом корпорации (Адизес 2007), реинжиниринг бизнес-процессов (Хаммер и Чампи 1997), сбалансированная система показателей (Каплан и Нортон 2004) и целый ряд других. В менеджменте стали широко использоваться системный подход, математические методы и информационные технологии.

Однако центральное место в послевоенных исследованиях менеджмента занимает концепция менеджмента качества, интегрирующая многие положения указанных теорий. Основной вклад в развитие

менеджмента качества внес У.Э.Деминг (Деминг 2007), а также ряд других исследователей, часто называемых «гуру менеджмента качества»: У.Шухарт, Дж.Джуран, А.Фейгенбаум, Ф.Кросби, К.Ишикава, Г.Тагути. Подробнее с концепцией менеджмента качества можно ознакомиться по работам (Нив 2007, Елиферов 2005, Круглов и Шишков 2006, Шадрин 2005). В России проблематика менеджмента качества освещается в журналах «Стандарты и качество», «Методы менеджмента качества». Наибольшее практическое развитие принципы менеджмента качества с помощью У.Э.Деминга получили в Японии, но в Западной Европе и Северной Америке они также пользуются большим вниманием и уважением. В России менеджмент качества находится на начальном этапе внедрения. Суть концепции менеджмента качества выражают его принципы, а именно: ориентация на потребителя; лидерство руководителя; вовлечение сотрудников; процессный подход; системный подход; постоянное улучшение; принятие решений на основе фактов; учет интересов поставщиков.

Формализацией положений менеджмента качества занимается Международная организация по стандартизации (ИСО). Начиная с 1987 года, получили распространение стандарты ИСО серии 9000, посвященные системам менеджмента качества (есть и другие стандарты ИСО). Под менеджментом качества понимается скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству. В настоящее время действуют стандарты ИСО серии 9000 выпуска 2008 года и их российские версии – ГОСТ Р ИСО серии 9000 выпуска 2008 года. Этих стандартов три, а именно:

- ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Это вспомогательный стандарт, содержание которого ясно из названия;

- ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования. Это основной стандарт данной серии, используемый для добровольной сертификации предприятий специальными уполномоченными органами по сертификации;

- ГОСТ Р ИСО 9004-2008. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. Этот стандарт не используется для целей официальной сертификации, а служит для дополнительного улучшения менеджмента предприятиями, как правило, уже имеющими сертификат ИСО 9001-2008.

Стандарты ИСО-9000 стремятся сформулировать квинтэссенцию концепции менеджмента качества, пригодную для организаций любых отраслей, размеров, видов деятельности и форм собственности. По сравнению с теоретическими работами по менеджменту качества

стандарты написаны более четко и недвусмысленно, но в то же время их общность и лаконичность не позволяет говорить о каких-то конкретных однозначных рекомендациях и открывает широкий простор для интерпретации. Поэтому найти две одинаковые системы менеджмента, построенные в соответствии со стандартом ИСО 9001, невозможно.

На наш взгляд, можно сформулировать следующие основные положения современной теории организационного управления, нашедшие отражение в принципах менеджмента качества и стандартах ИСО-9000:

- 1) маркетинговая философия;
- 2) учет интересов различных стейкхолдеров организации;
- 3) установка на убеждение и сотрудничество;
- 4) принцип постоянного улучшения качества;
- 5) системно-кибернетический подход;

6) использование математических (особенно статистических) методов и информационных технологий. Рассмотрим эти положения подробнее.

#### *Маркетинговая философия.*

Первый и основной принцип менеджмента качества – ориентация на потребителя. Именно здесь находится принципиальный водораздел между современной и устаревшей предпринимательской философией, между рынком потребителя и рынком производителя, между постиндустриальным и индустриальным укладами. Центр тяжести бесповоротно смещается с вопросов производства на изучение и в значительной степени формирование потребностей клиентов, то есть маркетинг. Причинами такого положения дел послужили повышение благосостояния большей части населения ведущих экономических держав, рост конкуренции, возникновение крупных транснациональных корпораций, тотальная глобализация, создание «общества потребления». Крупнейший теоретик менеджмента П. Друкер утверждает: «Единственно верное определение цели коммерческой фирмы таково: формировать потребителя» (Друкер 2008:39). Этот тезис Друкер противопоставляет и поныне широко распространенному, но неточному представлению о том, что целью коммерческого предприятия является получение прибыли. Конечно, последняя служит количественной оценкой эффективности предприятия и потому максимизация прибыли может быть положена в основу формальной модели его деятельности, но получение прибыли есть лишь следствие грамотной маркетинговой политики.

По сути, первый из «четырнадцати пунктов» Деминга – постоян-

ство цели – также определяет маркетинговую философию. В свойственной ему манере Деминг трактует свои принципы очень широко, что обуславливает пересечение с идеями устойчивого развития. В частности, Деминг пишет: «Результативность работы менеджмента следует оценивать не по величине дивидендов в текущем квартале, а по его способности обеспечивать устойчивость бизнеса и защиту инвестиций, гарантировать будущие дивиденды, сохранять рабочие места благодаря совершенствованию продукции и услуг» (Деминг 2007:23). Под постоянством цели Деминг понимает непрерывное улучшение продукции и услуг, но не как самоцель, а как средство удовлетворения общественных потребностей. Здесь важно подчеркнуть общественный характер маркетинговой ориентации учения Деминга, который подразумевает и создание рабочих мест, и получение устойчивой прибыли, и удовлетворение потребностей в товарах и услугах. Этому принципу противостоит «смертельная болезнь» краткосрочной ориентации, отсутствия постоянства цели, когда стратегические интересы приносятся в жертву получению немедленной прибыли, максимизации квартальных дивидендов. Конечно, совсем забывать о краткосрочных целях тоже нельзя, поэтому постоянство цели подразумевает нахождение компромисса между краткосрочными и долгосрочными интересами с преобладанием последних.

Стандарт ИСО 9001-2008 определяет ответственность руководства организации в части ориентации на потребителя как необходимость определения и выполнения требований потребителей для повышения их удовлетворенности (п.5.2). Для этого организация должна определить: а) требования, установленные потребителем; б) требования, не определенные потребителем, но необходимые для конкретного или предполагаемого использования; в) законодательные и иные обязательные требования к продукции; г) дополнительные требования, которые организация считает необходимыми (п.7.2.1).

Здесь следует обратить внимание на два момента. Во-первых, в менеджменте качества выделяются внешние и внутренние потребители. Внешние – это клиенты организации, потребляющие ее продукцию или услуги в законченном виде. Внутренние потребители – сотрудники организации, использующие в своей работе результаты деятельности других сотрудников этой же организации. С этой точки зрения можно выделить две основные ситуации: во-первых, последовательную обработку продукции конвейерного типа, когда выход предыдущей стадии производственного процесса является входом последующей, во-вторых, функционирование обеспечивающих подразделений (кадровая, бухгалтерская, юридическая, хозяйственная и

прочие службы), играющих вспомогательную роль в деятельности производственных подразделений (понимая производство в широком смысле как уставную деятельность организаций). Идеология менеджмента качества, отраженная в стандартах ИСО, требует выявлять, анализировать и учитывать потребности обеих указанных категорий потребителей.

Во-вторых, существуют актуальные и потенциальные потребности. С актуальными потребностями все ясно: их следует выявлять и учитывать по факту их существования. А вот предвосхищение потенциальных потребностей является «высшим пилотажем» маркетинга, под которым понимается не только изучение, но и формирование потребительского рынка. Именно это имел в виду Друкер, говоря о формировании потребителя как главной цели коммерческого предприятия и выделяя в его деятельности наряду с маркетинговой вторую главную функцию – инновационную. Те и только те предприятия-инноваторы, которым удастся предложить рынку принципиально новые, доселе неизвестные продукты и услуги, могут стать лидерами постиндустриальной экономики. Наиболее яркими примерами такого рода служат различные программные продукты, Интернет-ресурсы, мобильные телефоны и персональные компьютеры в разных модификациях, концепция «умного дома», нанотехнологии, современные технологии обучения, прогрессивные формы сервисного обслуживания и т.п.

*Учет интересов различных стейкхолдеров организации.*

С каждой организацией ассоциируются группы заинтересованных субъектов (стейкхолдеров). Принципы менеджмента качества явно требуют учитывать интересы четырех таких групп: потребителей (ориентация на потребителя), руководство организации (лидерство руководителя), ее персонал (вовлечение сотрудников) и поставщиков (учет интересов поставщиков). При более широком и детальном подходе в число стейкхолдеров включаются также владельцы (акционеры) компании, ее партнеры различного типа, общество в целом. Цели, интересы и ресурсы основных стейкхолдеров организации показаны в таблице 1.2.1, в параграфе 1.2 дана предварительная характеристика взаимоотношений организации со стейкхолдерами.

Принцип ориентации на потребителя стоит на первом месте в списке принципов менеджмента качества, поэтому эту группу стейкхолдеров следует считать основной. В соответствии с маркетинговой философией главная задача предприятия – выявление, анализ, учет, предвосхищение и формирование интересов ее потребителей.

Следующий принцип менеджмента качества – лидерство руко-

водителя. Согласно этому принципу, именно первый руководитель организации (президент, генеральный директор) должен лично возглавлять работу по созданию и поддержанию системы менеджмента, формулировать миссию организации, ее цели и политику в области качества, мобилизовать на реализацию этой политики всех сотрудников организации. Деминг формулирует эту идею предельно категорично: «Президент компании переложил качество на плечи заводских менеджеров. Он был искренним глупцом, да, глупцом, хотя и искренним» (Нив 2007:344).

К сожалению, в реальных условиях первый руководитель (особенно больших организаций) крайне редко возглавляет деятельность по менеджменту качества лично и непосредственно. Как правило, представителем руководства по качеству назначается один из заместителей директора или даже начальник отдела. Первый вариант может оказаться приемлемым при условии, что глава организации искренне разделяет идеи менеджмента качества, считает необходимым их внедрение на предприятии, активно поддерживает своего представителя по качеству и руководит системой менеджмента хотя бы в стратегическом плане (участие в разработке основных документов системы менеджмента качества, регулярное проведение совещаний руководства по качеству, анализ системы менеджмента качества).

Третий принцип менеджмента качества – вовлечение персонала. Естественно, что только руководитель организации и его представитель по качеству при всем желании не могут сами обеспечить выполнение всех принципов менеджмента качества и требований стандарта ИСО-9001. Для этого необходимо участие всех сотрудников организации – начиная от заместителей директора и заканчивая рядовыми исполнителями. Согласно Демингу, «одна из задач менеджмента – управлять требуемыми переменами и вовлекать в перемены всех» (Нив 2007:343). Здесь принцип учета и согласования интересов распространяется на внутриорганизационный уровень, на котором тоже существуют свои группы интересов, сторонники и противники идей и методов менеджмента качества, а также нейтральные «наблюдатели». Успех внедрения системы менеджмента качества возможен лишь в том случае, когда ее активно поддерживает большинство работников предприятия, включая ключевые фигуры на всех уровнях управления, что позволяет преодолеть неизбежное противодействие любой инновации.

Наконец, последний по порядку, но не по значению принцип менеджмента качества – учет интересов поставщиков, который как бы замыкает цикл «поставщик – организация – потребитель». Этому



принципу Деминг уделял очень большое внимание, последовательно критикуя формальный подход к выбору поставщика исключительно на основе цен и настаивая на установлении долговременных партнерских отношений с поставщиками, которые в пределе должны привести к наличию единственного поставщика для каждого вида необходимых входных ресурсов. Деминг отмечает, что проведение тендеров для выбора поставщика способствует коррупции, а главное – наличие нескольких поставщиков увеличивает вариабельность и тем самым неизбежно ухудшает статистические характеристики качества входных ресурсов. Деминг формулирует: «Самое главное требование к единственному поставщику – это его горячее желание и способность работать с вами на долговременной основе» (Нив 2007:279). Такие долговременные и даже пожизненные партнерские отношения успешно реализованы в Японии – стране победившего менеджмента качества, где поставщик считает удовлетворение своего потребителя делом чести.

В стандарте ИСО 9001-2008 лидерству руководителя и вовлечению персонала посвящен в первую очередь раздел 5 «Ответственность руководства». Стандарт определяет обязательства руководства (п.5.1), политику в области качества (п.5.3), планирование (п.5.4), ответственность, полномочия и обмен информацией (п.5.5), анализ системы менеджмента качества (п.5.6). Требования к поставщикам определены в разделе 7.4 «Закупки». В частности, согласно п.7.4.1 организация должна оценивать и выбирать поставщиков на основе их способности поставлять продукцию в соответствии с требованиями организации, при этом должны быть разработаны критерии отбора, оценки и повторной оценки, а записи результатов оценивания и сопутствующих действий должны поддерживаться в рабочем состоянии. Следует отметить, что эти формулировки, как и все положения стандарта ИСО 9001-2008, оставляют организации выбор: ограничиться установлением формальных критериев (например, проведением тендера по выбору поставщиков) или применить творческий подход Деминга и его последователей. С точки зрения официальной сертификации приемлемы оба подхода, причем первый технически даже проще и убедительнее, чего нельзя сказать о его долгосрочной эффективности.

#### *Установка на убеждение и сотрудничество.*

Это положение нашло в стандарте ИСО-9000 лишь косвенное отражение в той мере, в какой он описывает принципы лидерства руководителя и вовлечения сотрудников. Вместе с тем философия

Деминга уделяет идеям сотрудничества очень большое внимание: одиннадцать его пунктов из четырнадцати (1-2, 6-14) полностью или частично посвящены установлению в организации отношений нового типа.

Дело в том, что традиционный менеджмент, еще глубоко укорененный в практике руководства организациями, несмотря на усилия Деминга и его единомышленников и последователей, базируется в точности на противоположных идеях, многие из которых Деминг квалифицирует как «смертельные болезни». К их числу относятся:

- стремление к сиюминутной выгоде, несовместимое с долгосрочными стратегическими интересами предприятия;
- формальные системы аттестации и ранжирования персонала, подрывающие подлинную трудовую мотивацию и поощряющие конкуренцию, доносительство, интриги, приписки;
- текучесть управленческих кадров, лишаящую их конкретных знаний и основы для принятия стратегических решений;
- использование только количественных критериев, не позволяющих учесть важные трудно формализуемые факторы менеджмента.

Указанные «смертельные болезни» унаследованы от тейлористского представления об организации как о «производственном механизме», управление которым требует преимущественно формализации и принуждения. Для своего времени эта концепция была безусловно прогрессивной, но сейчас устарела и должна уступить место «органической» концепции, базирующейся на побуждении и переходе к убеждению (параграф 1.3).

Первый пункт Деминга «Постоянство цели» создает основу для поддержания заинтересованности и стремления к сотрудничеству для сотрудников организации на всех ее уровнях. Второй пункт «Новая философия» со всей определенностью подчеркивает, что началась (прежде всего, в Японии) новая экономическая эра, в которой конкурентоспособность предприятий определяется новыми принципами управления. Шестой пункт «Введите в практику подготовку и переподготовку кадров» акцентирует необходимость постоянного обучения персонала, апеллирующего к мотивам социального признания, самоутверждения и самореализации, находящихся на верхних этапах «пирамиды потребностей» А.Маслоу. Седьмой пункт «Учредите лидерство» подчеркивает роль высшего руководства организации в создании в ней атмосферы доверия и сотрудничества. Восьмой пункт «Изгоняйте страхи» поощряет создание в организации отношений партнерства и доверия между руководителями и подчиненными, исключает страх перед наказанием, неизбежно ведущий к формализму

и оппортунизму. Девятый пункт «Разрушьте барьеры» призывает к эффективному сотрудничеству между подразделениями и службами организации. Десятый пункт «Откажитесь от пустых лозунгов и призывов» избавляет от деморализации работников, тщетно пытающихся выполнить невыполнимые требования. Одиннадцатый пункт «Устраните произвольные количественные нормы и задания» заменяет плохо обоснованные нормативы поддержкой вышестоящих руководителей, обеспечивающей повышение качества и производительности. Очень важен двенадцатый пункт «Дайте сотрудникам возможность гордиться своей работой», моральный смысл которого не нуждается в особых комментариях. Идеи шестого пункта продолжает тринадцатый «Поощряйте стремление к образованию», реализация которого позволит персоналу организации отвечать современным требованиям «общества знаний». Наконец, четырнадцатый пункт «Вовлеченность высшего руководства и его действия» еще раз обращает внимание на роль лидерства руководителей в менеджменте качества, причем не на уровне деклараций, а на основе подлинного понимания и поддержки его принципов путем конкретных действий.

#### *Принцип постоянного улучшения качества.*

Этот важнейший принцип дословно формулируется как среди принципов менеджмента качества в стандарте ИСО-9000, так и у Деминга в его пятом пункте «Улучшайте каждый процесс». Деминг неуклонно настаивал на трактовке качества как стремления к идеалу, достижимому лишь в пределе процесса постоянного улучшения. Эта идея носит принципиальный характер и рассматривается более подробно в следующем параграфе книги.

Деминг выделяет два основных аспекта процесса постоянного улучшения. Во-первых, это поиск проблем и путей их преодоления. Во-вторых, это инновации, которые рассматриваются как единственный способ реального улучшения качества. Все пункты программы Деминга тесно взаимосвязаны, не составляют исключения и этот. Так, постоянное совершенствование производства включает в себя работу с поставщиками, направленную в конечном счете на выбор единственного поставщика каждого продукта и единой точки отгрузки для каждого изделия (пункт 4). Улучшение процесса распространяется на оптимизацию распределения усилий в процессе производства, а это связано с необходимостью обучения людей (пп.6, 13) и разрушения барьеров между функциональными подразделениями (п.12).

В стандарте ИСО 9001-2008 постоянному улучшению непосредственно посвящен пункт 8.5. Согласно стандарту, «организация

должна постоянно повышать результативность системы менеджмента качества посредством использования политики и целей в области качества, результатов аудитов, анализа данных, корректирующих и предупреждающих действий, а также анализа со стороны руководства» (п.8.5.1). Тем самым подчеркивается динамическая природа перечисленных действий, необходимость их постоянного пересмотра и обновления.

Процессы менеджмента качества должны функционировать в соответствии с так называемым циклом Шухарта-Деминга, описываемым в стандарте ИСО 9001-2008 следующим образом: планирование (plan) – разработайте цели и процессы, необходимые для достижения результатов в соответствии с требованиями потребителей и политической организации; осуществление (do) – внедрите процессы; проверка (check) – постоянно контролируйте и измеряйте процессы и продукцию в сравнении с политикой, целями и требованиями на продукцию и сообщайте о результатах; действие (act) – предпринимайте действия по постоянному улучшению показателей процессов. Спираль, включающая на каждом новом витке очередной цикл Шухарта-Деминга, служит моделью процесса постоянного улучшения.

#### *Системно-кибернетический подход.*

Кибернетика как наука об общих закономерностях управления является фундаментальным теоретическим источником менеджмента качества. По словам крупного специалиста в этой области Ст.Бира: «Главное в кибернетике как науке – то, что она абстрагирует законы, открытые в любой изучаемой ею системе управления, и делает их всеобщим достоянием ... Задача кибернетики заключается в превращении некоего нечеткого понятия в точное и ясное с тем, чтобы знать реально, как им пользоваться в дальнейшем» (Бир 1993). К числу основных положений кибернетики, находящих отражение в менеджменте качества, можно отнести следующие (Шадрин 2005):

- изоморфизм, то есть взаимно-однозначное соответствие между структурой и функциями различных организаций и тем самым между их системами менеджмента качества. В пункте 1.2 стандарта ИСО 9001-2008 сказано: «Требования настоящего стандарта являются общими и предназначены для применения всеми организациями независимо от их вида, размера и поставляемой продукции»;

- обратная связь, передающая в управляющую подсистему информацию о состоянии объекта управления, в частности, о соответствии текущих значений показателей состояния запланированным значениям. Как писал основатель кибернетики Н.Винер: «Для эффективного

поведения необходимо получать информацию посредством процесса обратной связи, сообщающего о достижении цели. Обратная связь может быть столь проста, как обратная связь условного рефлекса, или она может быть обратной связью более высокого порядка, когда прошлый опыт используется для регулирования всей линии поведения» (Винер 2001:55). В стандарте ИСО 9001-2008 понятие обратной связи используется при определении мониторинга, улучшения, корректирующих и предупреждающих действий (подробнее об этом в главах 3 и 4 книги);

- принцип системной относительности, в соответствии с которым любая система, с одной стороны, является частью системы более высокого уровня (суперсистемы, надсистемы), с другой стороны, сама состоит из систем более низкого уровня (подсистем). Например, кузнечный цех является частью машиностроительного производства и состоит из бригад, а служба персонала является частью управления по корпоративным отношениям и включает в себя нескольких менеджеров по персоналу. В функциональном отношении организация представляется как совокупность взаимосвязанных процессов, состоящих из более мелких процессов и элементарных операций;

- иерархия управления, соответствующая иерархической структуре управления организацией и методам иерархического управления;

- принцип необходимого разнообразия У.Эшби, в соответствии с которым сложность управляющей подсистемы должна быть не меньше сложности объекта управления. Это означает, что руководство организации должно быть компетентным и способным решать задачи организационного развития с опорой на теорию управления и современные методы реализации ее положений.

Системно-кибернетический подход отражают процессный и системный подходы как принципы менеджмента качества. Деминг определял систему как «последовательность функций или видов деятельности (подпроцессов) внутри организации, которая работает совместно на цель организации» (Нив 2007:127). У Деминга нет пунктов с названиями «система» или «процесс», однако он неоднократно указывает на необходимость рассмотрения своих четырнадцати пунктов как целостной системы и опасности «выдергивания» одного - двух пунктов из общего контекста. В частности, он подчеркивает непреложное требование рассмотрения всех примеров только на основе теории, носящей системный характер.

*Использование математических (особенно статистических) методов и информационных технологий.*

Деминг, как и большинство других «гуру», был выдающимся статистиком, и применение статистических методов является одной из стержневых идей менеджмента качества. По высказыванию самого Деминга: «Если бы мне пришлось выразить мое послание к менеджменту всего в нескольких словах, я сказал бы: «Вся суть – в уменьшении вариаций»» (Нив 2007:75). В понимании Деминга, статистическое управление процессами представляет собой новую парадигму менеджмента, а не просто техническую методику. Надо также четко понимать, что статистический подход совсем не обязательно предполагает массовость объектов управления качеством: даже крупносерийное производство или оказание уникальных услуг находится под влиянием целого ряда случайных факторов, вызывающих вариации (изменчивость). Согласно статистической парадигме, именно снижение вариаций является магистральным путем повышения качества.

Основы статистического подхода к менеджменту качества были заложены в работах У.Шухарта, который выделил две группы причин, вызывающих вариации процессов: общие и особые. В первом случае процесс находится в статистически управляемом состоянии, то есть вариации можно контролировать; во втором случае процесс статистически неуправляем, и вариации не допускают контроля. Если процесс статистически неуправляем, то предпринимать какие бы то ни было усилия по повышению качества бесполезно, они принесут только вред. К счастью, число статистически неуправляемых процессов невелико: по оценкам, сделанным Дж.Джураном и У.Э.Демингом в разное время, их величина колеблется от 15% до 2%. После того, как особые причины вариаций устранены и процесс перешел в управляемое состояние, руководство и менеджеры организации (но не рядовые сотрудники!) имеют возможность совершенствовать систему и добиваться снижения вариаций. В качестве рабочего инструмента, служащего для различения двух указанных принципиально разных типов ситуаций, У.Шухарт предложил контрольные карты, впоследствии доведенные до совершенства К.Ишикавой.

Хотя статистические методы составляют основной массив математических методов, используемых в менеджменте качества и в менеджменте вообще, они не могут претендовать на исключительность. Современная теория и практика организационного управления используют широкий спектр математических методов и информационных технологий. По категоричному высказыванию Н.Винера, «кибернетика - ничто, если математика не служит ей опорой» (Винер

2001:257). Опираясь на эту мысль, российский специалист А. Шадрин утверждает: «Менеджмент качества - ничто без применения математики» (Шадрин 2005:84). Наряду со статистическими методами на основе теории вероятностей и случайных процессов, представляется целесообразным использовать следующие математические методы и модели менеджмента качества:

- теорию графов – для описания структуры организаций;
- дифференциальные уравнения – для описания динамики процессов и решения вопросов об их устойчивости;
- оптимизационные и теоретико-игровые модели исследования операций – для нахождения наилучших в определенном смысле управлений, в том числе при наличии нескольких критериев и нескольких субъектов управления;
- имитационное моделирование – для вариантной оценки долгосрочных последствий управленческих стратегий и осуществления предупреждающих действий.

Кроме того, неотъемлемой частью современного менеджмента является использование информационных технологий, позволяющих оперативно обрабатывать и анализировать большие объемы данных в реальном времени. Здесь ключевую роль играют корпоративные информационные системы, решающие насущные задачи автоматизации документооборота и принятия решений в организациях. В заключительной главе книги рассматривается использование их важной разновидности – информационно-моделирующих систем как инструмента обеспечения устойчивого развития организации.

Преимущества организации от использования системы менеджмента качества имеют два аспекта. Во-первых, это формально - имиджевая ценность. Менеджмент качества находит все более широкое распространение в практике управления организациями. В мире более полумиллиона предприятий сертифицировано по ИСО 9001 – основному стандарту менеджмента качества. В России, по различным оценкам, число сертифицированных по ИСО 9001 предприятий составляет 1500-2000, однако оно растет, и наличие данного сертификата имеет все шансы стать не только конкурентным преимуществом, но и просто необходимым условием серьезного отношения к организации. Еще в 1998 году Правительство РФ постановило «считать важнейшей задачей федеральных органов исполнительной власти осуществление поддержки субъектов хозяйственной деятельности, внедряющих системы качества на основе государственных стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9000 в целях повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции и предоставляемых услуг»

(Постановление Правительства РФ №113 от 02.02.1998), а правительство Москвы распорядилось «начиная с 2004 года не допускать к участию в подрядных торгах по городскому заказу строительные организации, не внедрившие систему управления качеством на основе государственных стандартов серии ГОС Р ИСО» (Постановление Правительства Москвы №953 от 05.12.2000). Во-вторых, наличие действующей системы менеджмента дает организации реальные возможности для улучшения корпоративного управления и тем самым производства. Деминг предложил следующую цепочку: улучшайте качество – за счет меньшего количества ошибок, переделок и задержек, а также лучшего использования машинного времени и материалов уменьшатся затраты – повысится производительность – займете рынок, предлагая лучшее качество по более низкой цене – останетесь в деле – сохраните и умножите количество рабочих мест (Деминг 2007:31).

Рационализация управления позволяет достичь большей результативности и эффективности в достижении как оперативных, так и долгосрочных целей. Поэтому менеджмент качества целесообразно трактовать как технологию управления, направленную на обеспечение устойчивого развития организации. На наш взгляд, принципы менеджмента качества вполне совместимы с предложенными условиями устойчивого развития организации, сформулированными в параграфе 1.1 (таблица 2.1.1).

Таблица 2.1.1

### Принципы менеджмента качества и устойчивое развитие организации

Условия устойчивого развития Принципы менеджмента качества	Гомеостаз	Компромисс	Динамическая согласованность
Приоритет потребителя	Выявление показателей удовлетворенности потребителей	Учет интересов потребителей	Согласование долгосрочных и краткосрочных интересов потребителей



Лидерство руководителя	Общее руководство составлением системы показателей процессов системы менеджмента, их мониторингом и улучшением	Учет интересов руководителя организации	Согласование долгосрочных и краткосрочных интересов руководителя организации
Вовлечение сотрудников	Участие сотрудников в составлении системы показателей процессов системы менеджмента, их мониторинге и осуществлении корректирующих и предупреждающих действий	Учет интересов сотрудников, их мотивация	Согласование долгосрочных и краткосрочных интересов сотрудников организации
Процессный подход	Формирование системы показателей процессов, их плановых диапазонов и мониторинг выполнения плана (гомеостаза)	Процедуры разрешения конфликтных ситуаций в процессах управления	Обеспечение согласования долгосрочных и краткосрочных интересов стейкхолдеров в процессах управления
Системный подход	Трактовка набора показателей, их мониторинга и осуществления корректирующих и предупреждающих действий как системы	Комплексный учет интересов всех ассоциированных с организацией субъектов	Комплексное согласование долгосрочных и краткосрочных интересов ассоциированных с организацией субъектов

Постоянное улучшение	Постоянное улучшение построенной системы менеджмента	Более точный учет интересов ассоциированных субъектов, их потребностей и мотивов	Более точный учет условий согласования долгосрочных и краткосрочных интересов в процессах управления
Принятие решений на основе фактов	Реализация корректирующих и предупреждающих действий при наличии реальных или потенциальных несоответствий гомеостазу	Сбор информации об интересах субъектов и принятие решений на ее основе	Сбор информации об условиях согласования долгосрочных и краткосрочных интересов для принятия решений
Учет интересов поставщиков	Выявление показателей удовлетворенности поставщиков	Учет интересов поставщиков	Согласование долгосрочных и краткосрочных интересов поставщиков

## 2.2. Процессный подход и гомеостаз организации

«Ядром» создания системы менеджмента является процессный подход. Стандарт ИСО 9001:2008 трактует его как «применение в организации системы процессов наряду с их идентификацией и взаимодействием, а также менеджмент процессов, направленный на получение желаемого результата», при этом под процессом понимается «деятельность, использующая ресурсы и управляемая с целью преобразования входов в выходы». Основная задача процесса состоит в получении на выходе определенного результата, удовлетворяющего потребителя (в достижении цели процесса).

Принято выделять три группы процессов: основные процессы, связанные с уставной деятельностью организации, вспомогательные процессы, играющие обеспечивающую роль, и процессы управления. Основные процессы обладают определенной спецификой, зависящей от вида деятельности организации. Так, при реализации инвестици-

онных проектов в сфере капитального строительства (девелопменте) к числу основных процессов можно отнести следующие: разработку концепции проекта; подготовку эскизной и рабочей проектной документации; получение необходимых разрешений и согласований; выполнение строительно-монтажных работ; реализацию схемы финансирования; продажу или сдачу в аренду построенных объектов недвижимости; эксплуатацию объектов недвижимости. Вспомогательные процессы являются универсальными для подавляющего большинства организаций и включают в себя кадровую, бухгалтерскую, юридическую, информационно-технологическую, аналитическую, охранную, хозяйственную поддержку основной деятельности организации. Универсальными по своим функциям являются и процессы управления, обеспечивающие планирование, координацию, контроль и мотивацию деятельности организации. Более детальная характеристика процессов организации дана в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1 (Елиферов 2005:102)

Типы процессов	Характерные признаки	Клиенты
Основные процессы	Назначение процессов – создание основных продуктов. Результат – основной продукт и/или полуфабрикат для его изготовления. Процессы лежат на пути создания основных продуктов. Процессы добавляют к продукту ценность для потребителя	1. Внешние клиенты 2. Конечные потребители 3. Внутренние клиенты- другие процессы организации
Вспомогательные процессы	Назначение процессов – обеспечение деятельности основных процессов. Результат – ресурсы для основных процессов. Деятельность процессов не касается основных продуктов. Процессы добавляют продукту стоимость	Внутренние клиенты – другие процессы организации

Процесс управления	Назначение процесса - управление деятельностью всей организации. Результат – деятельность всей организации	Заинтересованные лица: собственники (инвесторы); потребители (клиенты); персонал (сотрудники) поставщики и субподрядчики; общество (внешняя среда)
--------------------	---	---

Ключевую роль в процессе играет его владелец, то есть сотрудник организации, отвечающий за достижение результата процесса и наделенный для этого необходимыми ресурсами (кадровыми, финансовыми, технологическими). При внедрении в организации системы менеджмента качества все процессы должны быть описаны в виде регламентов или иных документов, имеющих обязательную силу. Ответственность за описание процесса и его выполнение в соответствии с регламентом также несет владелец процесса. Для удобства описания процессов используются специальные языковые и программные средства. Наиболее распространенным языком описания процессов является методология функционального моделирования IDEF0. Широко используются также методологии ARIS и UML: сравнительный анализ этих подходов приведен в работе (Круглов и Шишков 2006).

В идеале функциональная структура, определяемая выделенными процессами, должна совпадать с организационной структурой, тогда владельцами процессов естественным образом становятся руководители структурных подразделений. Возможны случаи, когда в одном подразделении выполняются несколько процессов или, наоборот, один процесс осуществляется в нескольких подразделениях. В этих ситуациях необходимо особенно четко прописывать в регламентах процессов распределение ответственности и полномочий. В любом случае действует правило: ответственность за передачу продукта несет тот, кто его изготовил.

Для характеристики достижения результата процесса (его цели) используются два понятия: результативность (effectiveness) и эффективность (efficiency). Результативность отвечает на качественный вопрос, достигнута цель процесса или нет. Эффективность дает количественную характеристику достижения цели, соизмеряя полу-

ченный результат с понесенными затратами. Таким образом, результативность может быть достигнута с различной эффективностью. Стандарт ИСО 9001-2008 формально требует от организаций только результативности, хотя очевидно, что любое разумное управление не может обойтись без оценки эффективности.

Важнейшую роль в управлении процессами играют показатели их функционирования. К системе показателей целесообразно применять следующие требования: однозначная связь со стратегическими показателями организации; «прозрачность» для руководителей организации; удобство для владельцев процессов, управляющих ими на основе этих показателей; понятность для персонала, участвующего в процессе; измеримость в цифровом выражении, при этом допустимы экспертные (балльные, порядковые) оценки. В общем случае показатели должны охватывать следующие аспекты процессов организации: 1) показатели продукта процесса. Эта группа показателей характеризует результат процесса и отвечает на вопрос «Что произвел процесс?»; 2) показатели эффективности процесса. Эта группа показателей характеризует затраты ресурсов на производство продукта процесса и отвечает на вопрос «Какой ценой получен данный продукт (результат)?»; 3) показатели удовлетворенности клиентов процесса. Эта группа характеризует удовлетворенность потребителей результатами процесса и отвечает на вопрос «Насколько доволен клиент тем, что он получил?» (Елиферов 2005:123-124). Если организация считает затруднительным или нецелесообразным использование всех трех групп показателей процессов, она может ограничиться одним - двумя показателями для каждого процесса, характеризующими результативность – главное свойство процесса.

Для практического использования системы показателей необходимо установить их плановые значения, выполнение которых свидетельствует о нормальном протекании процесса. Именно соблюдение плановых значений показателей процессов трактуется нами как условие гомеостаза – ключевое условие устойчивого развития организации (см. таблицу 1.1.1).

Понятие гомеостаза первоначально возникло в физиологии (Бернар 1878) и означает динамическое постоянство внутренней среды организма (Cannon 1932). Представляется естественным обобщение этого понятия для «производственного организма» - промышленного предприятия, а также организаций других типов, также рассматриваемых как «социальные организмы». Однако создание методики измерения гомеостаза, позволяющей делать обоснованные заключения о факте и тем более степени его наличия в данной организации, явля-

ется далеко не простым делом и, в частности, послужило предметом пристального внимания У.Э.Деминга.

Как измерить степень соответствия текущих значений показателей процессов их плановым значениям, оценить тем самым результативность или «гомеостатичность» организации? Естественно подсчитать количество пунктов плана или всех планов, намеченных к выполнению на данный момент (период), и количество выполненных пунктов. Отношение второго числа к первому можно считать степенью реализации запланированной деятельности, или результативностью (Шадрин 2005:189). Однако применение этого подхода вызывает ряд вопросов. Допустим, что из десяти намеченных пунктов плана выполнены восемь: достаточно этого для результативности или нет? А 95 из 100? Более того, ведь каждый пункт, в свою очередь, может быть выполнен в той или иной степени. Например, срок сдачи дома намечен на 23 февраля. Если акт приемки в эксплуатацию действительно подписан не позже 23 февраля, то результативность сомнений не вызывает. А если 24-го? А 7 марта?

При ответах на эти вопросы можно выделить два подхода. Традиционный подход основан на так называемых допусках. Пусть длина некоторой детали должна равняться 25 миллиметрам. Тогда результативность считается достигнутой, а изделие качественным, если его реальная длина принадлежит диапазону, например, от 24.8 до 25.2 мм. Аналогично, дом считается сданным в срок, если акт приемки подписан с задержкой, например, не более двух недель или месяца от указанной в договоре даты (и в этом случае штрафные санкции на застройщика не налагаются). Результативность считается достигнутой (а процесс качественным), если из десяти пунктов плана выполнено не менее девяти.

Основанный на допусках подход является простым, понятным и действительно используется на практике в подавляющем большинстве случаев. Более того, он имеет под собой теоретическую основу, поскольку любой сложный процесс неизбежно находится под воздействием целого ряда случайных факторов, в силу чего его результат обязательно будет получен с некоторым отклонением от планового значения (не говоря уже о погрешности самих измерений – этот вопрос здесь не рассматривается). Поэтому говорить можно только о жесткости требований к допускам – будет ли это 0.2 мм или 0.02 мм, и т.д.

Тем не менее, Деминг подверг основанный на допусках подход суровой критике и предложил альтернативный подход к оценке качества. Конечно, выдающийся статистик Деминг не отрицает объектив-

ности возникновения погрешностей при осуществлении любого процесса. Более того, он настаивает на том, что операциональное определение «истинного» значения чего бы то ни было невозможно, так как наблюдаемое численное значение чего-либо зависит от используемых определений и операций, которые будут различаться у разных экспертов в данной предметной области (Деминг 2007:261). Деминг и его комментатор Г.Нив приводят многостраничные обсуждения, говорящие о субъективности и тем самым, по их мнению, бессмысленности попыток установления численных значений допусков.

Таким образом, истинное значение недостижимо, а попытки установления диапазонов для его оценки некорректны. Выход из этого порочного круга Деминг видит в последовательном применении принципа постоянного улучшения. Если требуемое значение длины детали составляет 25 мм, то можно ли получить это значение для любой из изготовленных десяти тысяч или ста тысяч деталей? Видимо, нет, но Деминг призывает к этому стремиться, вместо того чтобы заведомо ограничиваться требованием попадания длины в диапазон 25 плюс-минус 0.2 мм, плюс-минус 0.02 мм или какой-либо еще произвольно заданный. Тем самым плановое значение показателя трактуется как идеал, достижение которого возможно в пределе, а стремление к этому пределу позволяет мобилизовать физические и интеллектуальные возможности работников и реализовать принцип постоянного улучшения в полной мере. По мнению Деминга, основанный на допусках подход расхолаживает работников, устраняет из их деятельности «сверхзадачу».

По сути, альтернативный подход Деминга усиливает требования традиционного подхода, основанного на допусках. Сам Деминг заявляет: «Использование допусков (спецификаций, ТЗ, ТУ) – не ошибка. Просто этого недостаточно» или «Конечно же, мы не хотим нарушать допусков, но мы должны делать лучше, чем предписывается ими». Допуски становятся начальной точкой отсчета, а не конечной целью деятельности (Нив 2007:157,161).

Рассуждения Деминга позволяют уточнить определение гомеостаза организации, приведенное в таблице 1.1.1. Мы определили гомеостаз как выполнение условия

$$\forall t \in [0, T]: x(t) \in X^*, \quad (2.2.1)$$

где  $x(t)$  – вектор состояния организационной системы,  $X^*$  – область гомеостаза,  $T$  – период функционирования системы. Пусть для каждого показателя состояния  $x_i$  определено его плановое значение

$x_i^*$ , а область гомеостаза  $X^*$  представляет собой параллелепипед

$$\prod_{i=1}^n [x_i^* - \varepsilon, x_i^* + \varepsilon], \quad (2.2.2)$$

где  $n$  – общее число учитываемых показателей состояния системы. Тогда отрезки  $[x_i^* - \varepsilon, x_i^* + \varepsilon]$  как раз представляют собой допуски по показателю  $x_i$ , а требование (2.2.1) при  $t \rightarrow \infty$  означает условие нейтральной устойчивости точки равновесия  $x^*$  для управляемой динамической системы

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), u(t)), \quad (2.2.3)$$

описывающей развитие организационной системы с вектором состояния  $x(t)$  при определенном наборе управляющих воздействий  $u(t)$ .

Требование постоянного улучшения Деминга описывается дополнительным условием

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = x^*, \quad (2.2.4)$$

которое вместе с условием (2.2.1) с учетом (2.2.2) означает асимптотическую устойчивость равновесия  $x^*$  по Ляпунову.

Таким образом, если развитие организационной системы моделируется уравнением (2.2.3), а совокупность плановых значений показателей ее состояния – равновесием  $x^*$ , то традиционный подход формализуется как требование нейтральной устойчивости равновесия, а подход постоянного улучшения Деминга – как требование его асимптотической устойчивости по Ляпунову. Требование нейтральной устойчивости можно считать слабой формой условия гомеостаза организации, а требование асимптотической устойчивости – его сильной формой. Асимптотическая устойчивость (сильное условие гомеостаза) включает в себя нейтральную (слабое условие). Иными словами, если выполняется сильное условие гомеостаза, то выполняется и слабое, но обратное не всегда верно. Поэтому подход Деминга усиливает подход, основанный на допусках (табл.2.2.1).



Таблица 2.2.1

**Условия гомеостаза и их интерпретация**

Условия гомеостаза	Содержательная интерпретация	Математическая формализация
Слабая форма	Подход к качеству, основанный на допусках	$x(t) \in [x^* - \varepsilon, x^* + \varepsilon]$ при $t \rightarrow \infty$ (нейтральная устойчивость)
Сильная форма	Принцип постоянного улучшения качества Деминга	Дополнительно $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = x^*$ (асимптотическая устойчивость)

Содержательно гомеостаз как одно из условий устойчивого развития означает, что показатели процессов системы менеджмента качества принимают значения из плановых диапазонов. Тем самым выполнение условий гомеостаза означает выполнение требований к качеству. Формализация условий гомеостаза в терминах теории устойчивости имеет следующие преимущества. Во-первых, даются операциональные определения обоих подходов к достижению качества на основе формальной модели управляемой динамической системы. Во-вторых, в рамках этих определений однозначно устанавливается, что основанный на допусках подход является первым этапом подхода постоянного улучшения Деминга (поскольку нейтральная устойчивость есть необходимое условие асимптотической). Правда, у самого Деминга можно встретить и более категоричные высказывания: «Следование требованиям допусков – надежный путь к упадку» (Нив 2007:168), но последовательный подход представляется более взвешенным. В-третьих, при описании организации моделью управляемой динамической системы (2.2.3) появляется возможность решения вопроса о нейтральной или асимптотической устойчивости на основе формальных критериев, разработанных в теории устойчивости (Малкин 1952).

Конечно, подход на основе теории устойчивости вызывает определенные технические трудности как при построении модели управляемой динамической организационной системы, так и при решении

вопросов об устойчивости ее равновесий, требующих вычисления собственных значений матрицы линеаризованной системы. Поэтому в практике менеджмента качества для формализации принципа постоянного улучшения Деминга более распространен другой подход, основанный на так называемой функции потерь Тагути (Нив 2007:164-178).

Функция потерь Тагути – это парабола вида

$$L(x) = c(x - x^*)^2, \quad (2.2.5)$$

где  $x$  – измеряемое значение показателя качества;  $x^*$  - его плановое (номинальное) значение;  $c$  – коэффициент масштаба, подбираемый в соответствии с используемой при измерении потерь денежной единицей.

Подход Тагути в соответствии с идеями Деминга предполагает, что существует наилучшее (плановое, номинальное) значение показателя качества, любое отклонение от которого приводит к потерям, увеличивающимся по мере увеличения отклонения. Основной вид функции Тагути (2.2.5) допускает модификации. Например, если значение некоторого показателя качества должно быть не больше заданного (как при сдаче проекта в срок), то первая часть функции потерь будет горизонтальной с нулевым значением, а при переходе через критическое значение функция станет параболической.

Преимущества использования функции потерь Тагути заключаются в следующем: 1) она базируется на логическом основании, в отличие от произвольных допусков; 2) функция Тагути поддерживает необходимость постоянных улучшений. При любых отклонениях от идеального значения возникают потери, вызывающие потребность в улучшениях и уменьшении вариаций. Это отличается от надежды на то, что полное удовлетворение требований допусков достаточно для обеспечения качества; 3) оценки на основе функции потерь дают ориентир для установления приоритетов для процесса улучшения, ранжирования задач в соответствии с кибернетическим принципом выделения главного звена; 4) использование функции Тагути позволяет количественно оценить эффективность мероприятий по улучшению качества (Нив 2007:165-166).

Применение процессного подхода влечет ряд следствий:

- необходимость мониторинга текущих значений показателей качества (состояния процессов) для сравнения с плановыми значениями (глава 3);

- необходимость осуществления корректирующих действий при возникновении отклонений реальных значений от плановых (глава 4);

- целесообразность реализации предупреждающих действий для предотвращения возникновения отклонений в будущем на основе методологии имитационного моделирования (глава 4).

Итак, сформулированы условия гомеостатического развития организации как нейтральная (слабая форма) или асимптотическая (сильная форма) устойчивость ее желаемого состояния, определяемого в терминах показателей процессов функционирования организации. Эти условия выражают суть требований устойчивого развития организации и являются необходимыми для его достижения, однако их нельзя считать достаточными.

Дело в том, что в общем случае требования гомеостаза не могут быть достигнуты сами по себе. Возникает вопрос о субъекте их реализации: кто будет обеспечивать гомеостаз и зачем ему это нужно? Опыт показывает, что именно отсутствие реально заинтересованного и состоятельного субъекта служит причиной неудач самых замечательных планов и программ на всех уровнях. В отсутствие субъекта реализации любая программа остается лишь декларацией. Поэтому требования гомеостаза организации, сформулированные в терминах состояния управляемой системы, должны быть дополнены требованиями к управляющим воздействиям, направленным на достижение желаемого состояния. Эти воздействия должны отвечать интересам субъекта управления и быть обеспеченными необходимыми ресурсными возможностями.

Как было показано выше, с каждой организацией ассоциировано целое множество субъектов (стейкхолдеров), обладающих своими интересами и возможностями их реализации. Эти интересы не являются строго противоположными, но и не совпадают, содержат определенные противоречия. Поэтому процесс управления организацией неизбежно является конфликтным, а успешное управление возможно только на основе некоторого компромисса между интересами стейкхолдеров. Построение и исследование моделей конфликтов и их компромиссных решений является предметом теории игр. Именно теоретико-игровые модели различных классов следует считать моделями компромиссной рациональности, адекватными при описании управления организациями (Угольниковский 2010).

Деятельность организации представляет собой конфликтно-управляемый динамический процесс, адекватное описание которого обеспечивается моделями многошаговых (в случае дискретного времени) и дифференциальных (в случае непрерывного времени) игр (Айзекс 1967; Красовский и Субботин 1974; Клейменов 1993; Петросян и др. 1998). Здесь принципиальное значение имеет вопрос

о динамической устойчивости (состоятельности во времени) решений игры (Петросян 1977; Петросян и Кузютин 2008; Зенкевич и др. 2009; Kidland and Prescott 1977).

Свойство динамической устойчивости оптимального управления было впервые сформулировано Р.Беллманом: «Оптимальное управление обладает тем свойством, что каковы бы ни были первоначальные состояния и решения в начальный момент, последующие решения (входящие в качестве компонент в это оптимальное управление) должны составлять оптимальное управление относительно состояния, полученного в результате первого решения» (Беллман 1960). Большинство решений задач классической теории оптимального управления обладают этим свойством.

При переходе к многокритериальным задачам оптимального управления, а также многошаговым и дифференциальным играм ситуация усложняется. Во-первых, отсутствует единый принцип оптимальности, и свойство динамической устойчивости нужно проверять для каждого класса решений отдельно. Во-вторых, большинство используемых принципов оптимальности, обладающих хорошими статическими свойствами, этим свойством не обладает. Таким образом, в некоторый момент времени одному или нескольким игрокам может оказаться выгодным отклониться от траектории, соответствующей исходному согласованному принципу оптимальности. Тем самым исходная договоренность нарушается, что влечет неприятные последствия с точки зрения приложений (отказ от выполнения достигнутых соглашений). Поэтому в качестве практических рекомендаций по достижению компромисса между сторонами следует рассматривать только динамически устойчивые принципы оптимальности.

Смысл динамической устойчивости решения игры заключается в том, что согласованный в начальный момент времени компромисс остается оптимальным в любой последующий момент развития конфликтно-управляемого процесса. Поэтому никому из стейкхолдеров не выгодно нарушать достигнутую договоренность на протяжении всей траектории.

Другим аспектом обеспечения стабильности соглашения является стратегическая устойчивость, или требование равновесия по Нэшу. Это требование означает, что если все игроки придерживаются стратегий, входящих в ситуацию равновесия по Нэшу, то никому из них не выгодно выбирать вместо нэшевской стратегии никакую другую допустимую стратегию. Поэтому говорят, что равновесие по Нэшу обладает устойчивостью против индивидуальных отклонений игроков (стратегической устойчивостью). В целом условия реализуемо-

сти компромисса при управлении организацией приведены в таблице 2.2.2.

Таблица 2.2.2

### Условия реализуемости компромисса и их интерпретация

Условия компромисса	Содержательная интерпретация	Математическая формализация
Стратегическая устойчивость	Никому из стейкхолдеров не выгодно отклоняться от стратегии, согласованной в составе компромиссного решения	Равновесие по Нэшу: если справедливо неравенство $\forall i \in N, \forall y_i \in X_i : u_i(x_i, x_{N \setminus i}) \geq u_i(y_i, x_{N \setminus i})$ то ситуация $x = (x_1, \dots, x_n)$ называется равновесием по Нэшу
Динамическая устойчивость	Согласованный в начальный момент времени компромисс остается оптимальным в любой последующий момент развития конфликтно-управляемого процесса	Динамическая устойчивость по Петросяну (Зенкевич и др. 2009)

В совокупности условия гомеостаза и компромисса дают условия устойчивого развития организации, сводная характеристика которых в слабой и сильной формах с учетом последствий их возможного нарушения приведена в таблице 2.2.3.

Таблица 2.2.3

## Условия устойчивого развития организации

	Гомеостаз		Компромисс	
	Выполняется	Не выполняется	Выполняется	Не выполняется
Слабая форма	$x(t) \in [x^* - \varepsilon, x^* + \varepsilon]$ при $t \rightarrow \infty$ (нейтральная устойчивость)  Соблюдение допусков, обеспечивающее выполнение минимальных требований к качеству	Допуски не соблюдаются, что ведет к явному браку	Ситуация $x = (x_1, \dots, x_n)$ является равновесием по Нэшу, т.е. справедливо неравенство  $\forall i \in N, \forall y_i \in X_i :$ $u_i(x_i, x_{N \setminus i}) \geq u_i(y_i, x_{N \setminus i})$ Стратегическая устойчивость компромисса: никому из стейкхолдеров не выгодно менять согласованную стратегию	Взаимо-приемлемый компромисс отсутствует, неизбежны деструктивные конфликты между стейкхолдерами
Сильная форма	Дополнительно  $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = x^*$ (асимптотическая устойчивость)  Постоянное улучшение на основе стремления к достижению идеального качества	Постепенное отставание от конкурентов, применяющих более жесткие требования к качеству	Динамическая устойчивость по Петросяну (Зенкевич и др. 2009)  Гарантируется долгосрочное сотрудничество между стейкхолдерами	Неизбежно возникновение оппортунизма, поскольку с течением времени у некоторых стейкхолдеров возникают более выгодные стратегии

## **ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ**

Важнейшим принципом управления является обеспечение обратной связи, благодаря которой управляющая подсистема получает информацию о состоянии управляемой подсистемы и в случае возникновения отклонений от целевых значений переменных состояния осуществляет корректирующие воздействия (глава 4). В силу влияния множества внешних и внутренних факторов возникновение отклонений неизбежно, поэтому без обратной связи достичь цели управления организацией невозможно.

Получение информации о состоянии управляемой подсистемы обеспечивается мониторингом, который тем самым трактуется как важная неотъемлемая часть организационного управления, направленного на достижение устойчивого развития. В общем случае в систему мониторинга входят наблюдения, оценка и прогноз состояния организации, описываемого в терминах показателей процессов ее функционирования. Вопросам мониторинга уделяется большое внимание в стандарте ИСО 9001-2008, один из принципов менеджмента качества явно требует принимать решения на основе фактов. Организационный мониторинг включает: мониторинг удовлетворенности потребителей; мониторинг процессов; мониторинг продукции; мониторинг рынка; внутренние и внешние аудиты. Реализация функций мониторинга требует информационно-аналитической поддержки на базе корпоративных информационных систем.

Система мониторинга подлежит оптимизации, которую целесообразно проводить в рамках одной из двойственных задач: повышения точности при ограничениях на затраты сверху либо снижения затрат при ограничениях на точность наблюдений снизу. При этом необходимо учитывать структуру бизнес-процессов организации на основе сетевых моделей.

### **3.1. Концепция мониторинга в менеджменте качества**

В параграфе 1.2 организация охарактеризована как иерархически управляемая динамическая система (ИУДС), субъектами управления в простейшем варианте которой выступают Ведущий и Ведомый. Для обеспечения целей устойчивого развития ИУДС Ведущему необходима информация о ее состоянии и изменениях состояния в про-

цессе деятельности. Ведомый также нуждается в информации для принятия решений. На базе полученной информации Ведущий и Ведомый оценивают и прогнозируют состояние ИУДС. В организациях мониторинг Ведущего осуществляет руководство предприятия, а мониторинг Ведомого – руководители подразделений и сотрудники. Таким образом, в общем случае в систему мониторинга Ведущего входят наблюдения, оценка и прогноз состояния ИУДС, воздействия Ведомого на ИУДС и состояния Ведомого.

Мониторинг Ведущего является основным, поскольку он обеспечивает решение общесистемных задач управления. В свою очередь, Ведомый наблюдает, оценивает и прогнозирует состояние управляемой динамической системы (УДС) с позиции своих целей и задач (рис.3.1.1). Здесь  $x_{SL}$  – информация Ведущего о состоянии ИУДС;  $x_{FSL}$  – информация Ведущего о воздействии Ведомого на ИУДС;  $x_{FL}$  – информация Ведущего о состоянии Ведомого;  $x_{SF}$  – информация Ведомого о состоянии ИУДС.

В соответствии с представленной на рис.3.1.1 схемой мониторинга, модель иерархического управления динамической системой (1.3.8)-(1.3.11) можно уточнить следующим образом:

$$J_L = g_L(q, p, u, x_{SL}, x_{FSL}, x_{FL}) - M\rho(u, U_L(x_{SF})) \rightarrow \max; \quad (3.1.1)$$

$$q \in Q(x_{SL}, x_{FSL}, x_{FL}); p \in P(x_{SL}, x_{FSL}, x_{FL}); \quad (3.1.2)$$

$$J_F = g_F(q, p, u, x_{SF}) \rightarrow \max; \quad (3.1.3)$$

$$u \in U(x_{SF}). \quad (3.1.4)$$

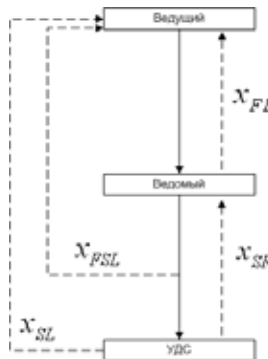


Рис. 3.1.1. Схема мониторинга в иерархически управляемой динамической системе



Как следует из модели (3.1.1) – (3.1.4), принятие решений в ИУДС существенно зависит от информации, которой располагают Ведущий и Ведомый. С математической точки зрения модель (3.1.1) – (3.1.4) есть игра с неполной информацией. Чем выше качество мониторинга, тем точнее могут быть получены оценки значений параметров  $x_{SL}$ ,  $x_{FSL}$ ,  $x_{FL}$ ,  $x_{SF}$ , что, в свою очередь, повышает качество принимаемых решений.

В организациях наличие информации о сотрудниках существенно влияет на качество управления. Отметим, что в организационных приложениях параметры мониторинга зачастую служат предметом манипуляции, поскольку искажение подлинных данных может оказаться выгодным для сотрудников (Опойцев 1986:14-15; Курбатов и Угольницкий 1998:220-224).

Расширенное системное описание мониторинга включает следующие функции: 1) наблюдение за воздействием на ИУДС; 2) наблюдение за состоянием ИУДС; 3) прогноз состояния ИУДС; 4) оценка текущего состояния ИУДС; 5) оценка будущего состояния ИУДС; 6) нормирование состояния ИУДС; 7) нормирование воздействия на ИУДС; 8) регулирование воздействия на ИУДС; 9) регулирование состояния ИУДС.

Ключевым моментом реализации первых двух пунктов этой программы выступает методика наблюдений, включающая ряд пунктов. Во-первых, необходимо составить список наблюдаемых параметров, составляющий вектор состояния ИУДС. При наблюдении за состоянием организации, в которой внедрена система менеджмента качества, наблюдаемые параметры представляют собой показатели процессов СМК. Мониторинг значений показателей позволяет судить о степени выполнения требований гомеостаза организации.

Во-вторых, следует определить методы измерения значений наблюдаемых параметров и необходимость использования специальных приборов. Серьезные требования к измерениям предъявляет стандарт ИСО 9001-2008. В соответствии с п.7.6 указанного стандарта, измерительное оборудование должно быть: а) откалибровано или поверено в установленные периоды или перед его применением по образцовым эталонам, передающим размеры единиц в сравнении с международными или национальными эталонами. При отсутствии таких эталонов база, использованная для калибровки или поверки, должна быть зарегистрирована; б) отрегулировано или повторно отрегулировано по мере необходимости; в) идентифицировано с целью установления статуса калибровки; г) защищено от регулировок, которые сделали бы недействительными результаты измерения; д) за-

щищено от повреждения и ухудшения состояния в ходе обращения, технического обслуживания и хранения. В частности, необходимо подтверждать способность используемых компьютерных программных средств удовлетворять предполагаемому применению (нечего и говорить, что программное обеспечение должно быть открытым либо лицензионным).

В-третьих, методика должна устанавливать пространственно-временные характеристики наблюдений. Пространственные характеристики – это географические координаты точек (областей) наблюдений; например, при организационном мониторинге – удаленные от основного офиса или производства филиалы предприятия. Временные характеристики – это частота наблюдений (ежедневные, еженедельные, ежемесячные и т.д.).

В-четвертых, необходимо установить методы обработки и анализа собранных данных наблюдений. Здесь основная роль принадлежит статистическим методам как одному из главных направлений менеджмента качества. Стандарт ИСО 9001-2008 связывает применение статистических методов с демонстрацией соответствия продукции, обеспечением соответствия СМК и постоянным повышением ее результативности (п.8.1). Статистика позволяет упорядочить большие объемы собранных данных наблюдений, подтвердить их репрезентативность, проверить определенные гипотезы. Прогнозирование состояния организации как ИУДС требует построения и использования ее динамической модели.

Оценка текущего и будущего состояния ИУДС требует установления соответствующих оценочных показателей. Наиболее полное представление о состоянии системы дает набор всех характеристик, по которым проводятся наблюдения. Однако работа с подобными многомерными массивами данных далеко не всегда возможна и удобна на практике. Поэтому используются агрегированные показатели, представляющие собой скалярные функции векторного аргумента – полного набора наблюдаемых характеристик или некоторого подмножества характеристик (индексы качества). Несомненна целесообразность использования индексов и в организационном мониторинге. Для оценки будущего состояния ИУДС индексы следует применять совместно с динамическими моделями прогноза, реализуя следующую двухэтапную процедуру: 1) вычисление характеристик ИУДС в будущем; 2) расчет значений индексов качества.

Проблема нормирования состояния ИУДС может быть сформулирована как задача определения допустимых диапазонов значений наблюдаемых переменных (в агрегированной постановке – значений

индексов качества). Эта задача носит содержательный характер и должна решаться экспертами в соответствующих областях. В организационном мониторинге допустимые диапазоны (или допустимые точки) представляют собой плановые значения показателей функционирования организации (процессов СМК при ее внедрении), определяющие требования гомеостаза.

Проблема нормирования воздействия представляет собой обратную задачу теории ИУДС: найти значения управляющих переменных, обеспечивающих попадание траектории ИУДС в заданную (на этапе нормирования состояния) область. Эта область может определяться в виде фазовых ограничений модели, формализующих условие гомеостаза ИУДС: для любого  $t$  требуется  $x(t) \in X(t)$ . В сильной форме условия гомеостаза требуется, чтобы в пределе текущее значение сошло к плановым.

Наконец, проблемы регулирования воздействия на ИУДС и ее состояния формализуются как задачи иерархического управления динамической системой, примеры которых приведены в (Угольницкий 2010).

Из вышеизложенного можно сделать принципиальный вывод о тесной связи мониторинга с математическим моделированием. Математические модели (разумеется, наряду с содержательными методами, экспертными оценками и информационными технологиями) служат неотъемлемой частью решения задач прогнозирования и оценки состояния ИУДС, нормирования воздействий на ИУДС, регулирования воздействия на ИУДС и ее состояния. В частности, борьба с оппортунистическим поведением требует построения теоретико-игровых моделей иерархического управления мониторингом.

Итак, важнейшей составляющей управления организацией является обратная связь, благодаря которой руководство организации:

- получает информацию о состоянии организации, происходящих в ней процессах, в том числе с учетом внешних воздействий на организацию;
- сравнивает параметры текущего состояния с предустановленными плановыми (желаемыми);
- в случае отклонения реальных текущих значений от плановых формирует управляющие воздействия, направленные на ликвидацию отклонения и возврат функционирования организации к плановой траектории;
- контролирует результативность и эффективность управляющих воздействий, при необходимости формирует дополнительные воздействия.

Именно мониторинг служит средством реализации обратной связи в управлении, поскольку он:

- обеспечивает руководство организации регулярной информацией о ее функционировании с учетом изменений во внешней среде;
- позволяет контролировать результативность и эффективность управляющих воздействий;
- при наличии соответствующих моделей дает возможность прогнозировать состояние организации для различных сценариев динамики ее внутренней и внешней среды.

Таким образом, мониторинг является необходимой неотъемлемой частью процедур организационного управления для организаций любой формы, размера и отраслевой принадлежности. Мониторинг обеспечивает руководство организации информацией, требуемой для достижения организационных целей.

Перспективной платформой для описания и реализации организационного мониторинга представляется создание системы менеджмента качества (СМК) организации на основе стандартов ИСО серии 9000. Идея СМК состоит в том, что качество продуктов или услуг организации зависит от качества организационного управления. СМК базируется на следующих принципах: приоритет потребителя; лидерство руководителя; вовлечение персонала; процессный подход; системный подход; постоянное улучшение; принятие решений на основе фактов; учет интересов поставщиков.

С точки зрения организационного мониторинга эти принципы можно прокомментировать следующим образом.

Приоритет потребителя – важнейший принцип менеджмента качества, выражающий суть маркетинговой философии современных организаций – их ориентацию на клиента. Деятельность в сфере производства или оказания услуг, а также деятельность некоммерческих организаций не является самоцелью, а призвана как можно более полно удовлетворять существующие и даже превосходящие потенциальные пожелания потребителей. Отсюда следует необходимость сбора информации о потребительских пожеланиях и степени их удовлетворения – это задача мониторинга удовлетворенности потребителей. Не следует забывать, что помимо внешних потребителей конечного продукта деятельности организации существуют и внутренние потребители – подразделения самой организации, использующие в своей работе результаты других подразделений.

Принцип лидерства руководителя фиксирует его ключевую роль во внедрении любых организационных инноваций, включая СМК. Для выполнения лидерских функций руководитель организации дол-

жен располагать полной, точной и своевременной информацией о ее функционировании, обеспечиваемой процедурами мониторинга. Вместе с тем понятие нормы управляемости напоминает о том, что перегружать руководителя лишней информацией также не следует.

Необходимость вовлечения сотрудников объясняется тем, что успех разработки, внедрения и поддержания в рабочем состоянии СМК зависит не только от руководства, но и от всего персонала организации. Сотрудники организации участвуют в мониторинге двояким образом: с одной стороны, они поставляют информацию своим непосредственным руководителям и высшему руководству организации, с другой стороны, для выполнения своих должностных обязанностей они сами нуждаются в определенной информации. Наиболее рациональной формой поддержки информационных потребностей сотрудников организации является корпоративная информационная система, предоставляющая возможности для сбора, хранения и обработки требуемой информации.

Процессный подход занимает центральное место в идеологии СМК. Его смысл заключается в том, что деятельность организации представляется в виде системы взаимосвязанных процессов. Обычно выделяют основные процессы, отражающие природу деятельности организации, обеспечивающие их выполнение вспомогательные процессы и процессы управления. Система процессов устроена иерархически: процессы верхнего уровня включают в себя ряд процессов более низкого уровня. Рационально построенная система процессов должна соответствовать организационной структуре, хотя здесь возможны определенные различия (например, в одном подразделении могут выполняться несколько процессов). Как утверждает стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2008, применение в организации системы процессов наряду с их идентификацией и взаимодействием, а также менеджмент процессов могут считаться «процессным подходом».

Например, для девелоперской (инвестиционно-строительной) организации возможно выделение следующей системы процессов.

A1: осуществлять стратегическое и оперативное управление организацией.

A11: осуществлять стратегический анализ и планирование деятельности.

A12: осуществлять текущий анализ и планирование деятельности.

A13: проводить внутренние проверки деятельности.

A2: управлять ресурсами и производственной средой.

A21: управлять финансами.

A22: управлять персоналом.

A23: обеспечивать бухгалтерскую поддержку.

A24: обеспечивать правовую поддержку и безопасность.

A25: обеспечивать информационную поддержку.

A26: обеспечивать хозяйственную поддержку.

A3: управлять циклом застройки.

A31: управлять подготовкой инвестиционного проекта.

A32: управлять процессом проектирования.

A33: провести рекламную кампанию.

A34: управлять процессом строительства.

A35: реализовать объект недвижимости.

Естественно, что менеджмент процессов нуждается в мониторинге процессов, который, в свою очередь, основывается на определении системы показателей процессов, регулярном отслеживании текущих значений показателей и их сравнении с плановыми значениями. Более подробно эти вопросы рассмотрены в параграфе 2.2.

Принцип системности обосновывает саму идею кибернетической схемы управления организацией с обратной связью, реализация которой требует постоянного мониторинга. Разумеется, что организационный мониторинг также должен базироваться на системных принципах и охватывать деятельность организации в целом, во всех аспектах и на нужном уровне детальности (не случайно говорят о системе мониторинга).

Принцип постоянного улучшения подразумевает анализ существующего состояния организации и поиск вариантов его изменения для наилучшего решения задач, сформулированных в Миссии, Видении организации, ее Целях и Политике в области качества. Соответственно, полноценный анализ должен быть обеспечен информацией, предоставляемой процедурами мониторинга. Мониторинг обеспечивает также контроль эффективности улучшений.

Принцип принятия решений на основе фактов, пожалуй, наиболее явно фиксирует необходимость мониторинга, обеспечивающего руководство организации указанными фактами – информацией о текущем состоянии организации. Здесь также велика роль статистических методов и различных способов агрегирования информации, позволяющих предоставлять ее на нужном уровне детализации.

Наконец, принцип учета интересов поставщиков определяет необходимость сбора соответствующей информации – о выполнении договоров с поставщиками, об их удовлетворенности отношениями с организацией, а в более широком смысле – также информации о

внешней среде организации в целом.

Таким образом, все принципы менеджмента качества подразумевают необходимость и целесообразность организационного мониторинга. Процессы СМК должны функционировать в соответствии с так называемым циклом Шухарта-Деминга, третья фаза которого (проверка) также посвящена решению задач организационного мониторинга.

В п.4.1 «Общие требования к СМК» стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2008 утверждается, что организация должна осуществлять мониторинг, измерение и анализ процессов системы менеджмента качества. Более подробно вопросам мониторинга посвящен п.8.2 стандарта «Мониторинг и измерение», включающий следующие подпункты: удовлетворенность потребителей; внутренние аудиты (проверки); мониторинг и измерение процессов; мониторинг и измерение продукции.

В процессе мониторинга удовлетворенности потребителей организация должна собирать и анализировать информацию о восприятии потребителями соответствия ее деятельности потребительским требованиям. Измерять субъективное восприятие не так просто, поэтому требуется разработка специальных методов получения и использования этой информации. К наиболее распространенным методам можно отнести проведение опросов (в том числе при посредстве Интернет-сайта организации), анкетирование потребителей, организацию регулярных встреч с ними.

Стандарты ИСО серий 9000 и 14000 трактуют аудиты как метод менеджмента для обеспечения мониторинга и верификации результативности внедрения политики организации в области качества и/или экологического менеджмента<sup>2</sup>. Различают следующие разновидности аудитов: первой стороны (внутренние) – проводимые самой организацией; второй стороны – проводимые субъектами, заинтересованными в деятельности организации (например, потребителями); третьей стороны – проводимые внешними независимыми организациями (например, органами, уполномоченными проводить сертификацию организации на соответствие требованиям стандартов ИСО). Аудиты второй и третьей стороны являются внешними по отношению к организации.

Аудиторы должны руководствоваться следующими принципами: этическое поведение – основа профессионализма; беспристрастность – обязательство отчитываться правдиво и точно; профессиональное прилежание – проявление аккуратности и здравого смысла при про-

<sup>2</sup> Стандарт ISO 19011-2002.

ведении аудита; независимость – основа объективности и беспристрастности заключений по результатам аудита; подход на основе фактов – рациональный метод для достижения надежных и воспроизводимых заключений при систематическом процессе аудита.

Программы аудита могут быть различными. Внутренние аудиты проводятся не реже раза в год и направлены на проверку соответствия СМК организации требованиям стандарта ИСО. В ходе аудита в соответствии с его планом проверяются все подразделения организации. Сертификационные аудиты проводятся каждые три года и официально подтверждают соответствие СМК организации требованиям стандарта ИСО. В промежутках между сертификационными аудитами органами по сертификации проводятся ежегодные надзорные аудиты, контролирующие текущее состояние системы менеджмента. Следует отметить, что сами аудиты также подвергаются мониторингу, который в этом случае представляет собой «мета-мониторинг», или мониторинг второго уровня. По его итогам проводится анализ программы аудита, позволяющий учесть: результаты и тенденции, получаемые путем мониторинга; соответствие процедурам; растущие потребности и ожидания заинтересованных сторон; записи программы аудита; альтернативные методики в области аудита; согласование действий различных групп по аудиту в одинаковых ситуациях и др.

Мониторинг процессов занимает центральное место среди процедур мониторинга, поскольку процессы образуют основу СМК. Целью мониторинга процессов является доказательство их результативности. В случае, когда запланированные результаты не достигаются, по итогам мониторинга предпринимаются коррекции и корректирующие действия. Для проверки результативности (а при желании организации – и эффективности) процессов СМК используется система показателей, характеризующих эти процессы (параграф 2.2).

Например, для процесса А34 «Управлять процессом строительства» девелоперской организации можно предложить следующие показатели по указанным группам:

1.1. Превышение сроков выполнения строительно-монтажных работ, установленных в графике к договору подряда, по вине отдела архитектурно-строительного контроля.

2.1. Выход за рамки бюджета разработки.

2.2. Количество отклонений в ходе строительства от параметров, установленных в рабочей проектной документации.

3.1. Замечания потребителя к качеству приобретаемого помещения.

Для практического использования системы показателей необхо-



димо установить их плановые значения, выполнение которых свидетельствует о нормальном протекании процесса. Так, для указанных выше показателей возможны следующие плановые значения (все текущие значения измеряются в течение месяца): три дня; не более 5%; ни одного; ни одного.

Если организация считает затруднительным или нецелесообразным использование трех групп показателей процессов, она может ограничиться одним - двумя показателями для каждого процесса, характеризующими результативность – главное свойство процесса. Так, для процесса «Управлять строительством» можно использовать единственный показатель – процент выполнения графика строительства по каждому проекту с плановым значением 100%, проверяемым ежеквартально.

На соответствующих стадиях процесса жизненного цикла продукции организация должна осуществлять мониторинг и измерять характеристики продукции с целью проверки соблюдения требований к продукции. Для девелоперской организации мониторинг продукции представляет собой контроль выполнения договоров с подрядными организациями (проектными, строительными и т.д.).

Не указан явно в стандарте ИСО, но несомненно важен для любой организации еще один вид мониторинга – мониторинг рынка. Изучение состояния рынка необходимо для разработки маркетинговых решений. Так, девелоперской организации мониторинг рынка позволяет для каждого участка застройки определить наиболее целесообразную целевую группу будущих потребителей и тем самым установить базовые параметры концепции инвестиционного проекта: тип недвижимости (жилая, офисная, торгово-развлекательная, складская); класс недвижимости (социальная, эконом, бизнес, премиум); формирование профиля и состава предполагаемых собственников (арендаторов); рекомендации по размеру, планировочным и стилевым решениям и т.д. Сбор информации о деятельности конкурентов способствует установлению адекватной ценовой политики организации.

Таким образом, организационный мониторинг включает: мониторинг удовлетворенности потребителей; мониторинг процессов; мониторинг продукции; мониторинг рынка; внутренние и внешние аудиты.

Мониторинг является неотъемлемой частью менеджмента качества как технологии организационного управления, включающей следующие этапы:

выделение и описание бизнес-процессов; определение показателей функционирования по каждому процессу (вектор состояния);

определение плановых значений показателей (гомеостаз); регулярное измерение значений показателей; регулярное измерение ключевых показателей внешней среды; анализ результатов измерений; оценка состояния; при необходимости - разработка и реализация корректирующих действий (адаптация); механизм мотивации; прогноз состояния внутренней и внешней среды (моделирование); разработка и реализация предупреждающих действий (преадаптация); автоматизация документооборота и поддержки решений на основе корпоративной информационно-аналитической системы. С помощью указанной технологии обеспечивается адаптивность предприятия на основе мониторинга, системного анализа и прогноза динамики показателей его внутренней и внешней среды (подробнее об этом – в следующей главе)

### 3.2. Оптимизация организационного мониторинга

В предыдущем параграфе определены данные, собираемые в ходе мониторинга:  $x_{SL}$  – информация Ведущего о состоянии УДС;  $x_{FSL}$  – информация Ведущего о воздействии Ведомого на УДС;  $x_{FL}$  – информация Ведущего о состоянии Ведомого;  $x_{SF}$  – информация Ведомого о состоянии УДС. Естественно, точность определения значений величин  $x_{SL}$ ,  $x_{FSL}$ ,  $x_{FL}$ ,  $x_{SF}$  зависит от величины затрат на проведение мониторинга. Поэтому возникает идея формулирования двойственных задач оптимизации мониторинга:

- 1) обеспечение максимальной точности наблюдений (оценки, прогноза) при заданных ограничениях на затраты;
- 2) обеспечение минимальных затрат при заданных ограничениях на точность (Горстко и Суходольский 1981).

Основная проблема здесь заключается в выявлении зависимости определения точности от различных характеристик системы мониторинга. Представляется целесообразным решать задачу оптимизации мониторинга в два этапа. На первом этапе оптимизации подлежит структура системы мониторинга (число, размещение, взаимосвязь пунктов мониторинга и т.д.). На втором этапе в рамках заданной структуры оптимизируется методика мониторинга (численность персонала, используемые приборы, интенсивность измерений, измеряемые параметры и т.п.).

Рассмотрим задачу контроля качества в производственной системе с учетом ее структуры (Корниенко и Угольницкий 2010). Согласно стандартам ИСО 9000 система менеджмента качества – это система для разработки политики руководства и управления организацией

применительно к качеству.

Такая политика состоит из управления качеством, а также его обеспечения и улучшения. При этом под качеством понимается степень соответствия присущих характеристик требованиям (как предполагаемым, так и обязательным).

Очевидно, что для успешного функционирования системы обеспечения качества необходимо иметь возможность оценивать состояние системы на всех этапах производства. В соответствии с развитием философии качества и стандартами серии ИСО 9000, в настоящее время особое внимание уделяется начальным этапам планирования производства (Владимирцев и Шеханов 2000). В то же время, даже построив оптимальную организационную систему и улучшив качество труда, невозможно полностью избежать возникновения дефектов. Поэтому возникает проблема эффективности системы контроля продукции. Ведь в условиях постоянного повышения качества повышаются и требования к продукции, что делает проверку изделия с точностью, достаточной для подтверждения качества, весьма дорогостоящей. Кроме того, при низком уровне дефектности продукции такие проверки будут давать отрицательный результат очень редко, а значит, большие средства будут расходоваться впустую.

В случае, когда речь идет о готовой продукции, такие затраты оказываются оправданными, так как они создают требуемые стандартами ИСО 9000 гарантии качества продукции поставщика (Круглов и Шишков 2006). Однако при рассмотрении внутренних процессов контроль их функционирования может быть экономически невыгоден в случае высокого промежуточного уровня качества и относительно низких убытков от попадания дефектной продукции на вход следующего процесса.

Таким образом, использовать или не использовать процессы контроля качества для каждого из процессов производства – достаточно сложная задача, решение которой зависит от множества параметров, таких как стоимость контроля, убытки от дефектной продукции, дефектность процесса, наличие контроля для других процессов системы производства, структура этой системы и т.д.

В соответствии с международными стандартами семейства ИСО 9000, любую деятельность необходимо рассматривать как технологический процесс. В работе организации эти процессы взаимодействуют сложным образом, образуя систему или сеть процессов. Впервые предложил рассматривать организацию как систему процессов К. Ишикава в начале 1980-х годов (Ishikawa 1990). Стандарты семейства ИСО 9000 законодательно закрепили такой подход. Они основывают-

ся на понимании того, что всякая работа выполняется как процесс.

Каждый процесс, преобразуя некоторый объект труда, имеет вход и выход. Выход - это продукция, материальная и нематериальная, которая является результатом процесса. Выходом процесса может быть, например, документ, программный продукт, химическое вещество, банковская услуга, медицинское оборудование или промежуточная продукция любой общей категории. Входом процесса может являться материальная или нематериальная продукция или природное сырье.

Процесс, преобразуя объект труда, добавляет его стоимость. Каждый процесс использует определенные ресурсы, в том числе трудовые. На входе и выходе процесса, а также в различных фазах процесса могут проводиться измерения. Требования к системам качества в соответствии со стандартами ИСО 9000 могут быть применены ко всем категориям продукции. Одним из важнейших моментов ИСО 9000 является то, что требования к системам качества по существу одни и те же для всех общих категорий продукции, различаться могут лишь детали административного построения и управления системами и терминология.

В ИСО 9000 предполагается, что каждая организация существует для выполнения работы по добавлению стоимости продукции. Работа выполняется посредством сети процессов. Структура этой сети является достаточно сложной, поскольку большинство процессов взаимодействует между собой. Таким образом, управление организацией невозможно без управления ее процессами. Стандарт ИСО 9001:2008 рекомендует строить управление процессами как через структуру и работу самого процесса, внутри которого имеются потоки продукции и информации, так и через качество этой продукции и информации, протекающей внутри структуры.

Рассмотрим производственную систему, представляющую собой дерево  $G=(X,U)$ , ориентированное в направлении корня,  $X$ -множество процессов (вершины),  $U$ -множество потоков продукции между этими процессами (дуги).

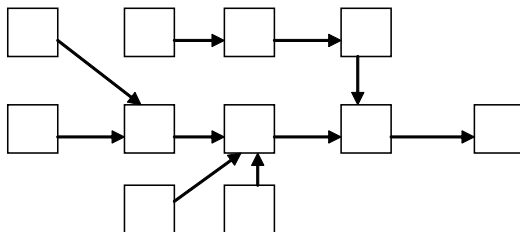


Рис. 3.2.1. Пример древовидной производственной структуры

Если продукция с выхода какого-либо процесса **A** используется на входе нескольких процессов, будем дублировать этот процесс в производственной системе (с соответствующим ему поддеревом), сохранив его характеристики, но сделав возможным применение различных, независимых вариантов контроля продукции, идущей впоследствии по разным направлениям (см. рис. 3.2.2).

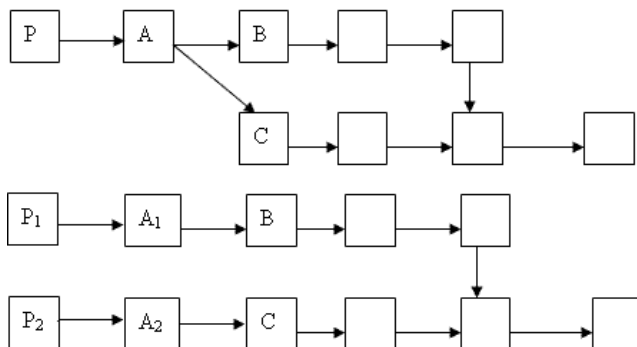


Рис. 3.2.2. Приведение системы к древовидной структуре

Такая ситуация, в частности, может возникать, когда для производства различных деталей требуются одни и те же материалы. Корень дерева соответствует последнему процессу производства, выход этого процесса поступает потребителю.

Поток продукции при переходе от одного процесса к другому характеризуется тремя величинами: текущим объемом продукции ( $v$ ), долей качественной продукции ( $q$ ) и текущей себестоимостью данного объема продукции ( $r$ ). Будем обозначать такой поток тройкой  $(v, q, r)$  или, при  $v=1$ , парой  $(q, r)$  (в этом случае  $r$  соответствует удельным затратам).

Все процессы производственной системы можно разделить на два основных типа: процессы производства и процессы контроля качества.

Пусть контроль качества является неразрушающим (изделие после проверки не портится); оценивается состояние изделия в целом (то есть обнаруживается брак, допущенный на любом из предыдущих этапов производства); контроль точный (обнаруживаются все дефекты). В случае обнаружения брака изделие изымается из производства. Пусть для каждого из процессов у производителя есть возможность выбрать один из двух вариантов:

- 1) проводить полный контроль с разбраковкой;
- 2) не проводить контроль качества вовсе, а передать весь текущий объем продукции (с некоторой долей брака) на вход следующего процесса.

Таким образом, возникает задача: как разместить контрольные участки, чтобы это было максимально выгодно для предприятия.

В соответствии с принципом недопущения попадания некачественной продукции потребителю будем считать, что после заключительного процесса полный контроль качества является обязательным. Кроме того, примем за единицу объем продукции на выходе последнего процесса.

Введем нумерацию процессов (множества вершин  $X$  графа  $G=(X,U)$ ) так, чтобы выполнялось условие:  $\forall (i,j) \in U \ i < j$ .

Сделать это можно при помощи следующего алгоритма:

1. Выбрать вершину степени захода равной нулю.
2. Присвоить ей очередной номер.
3. Удалить вершину и все связанные с ней дуги.
4. Повторить, пока все вершины не будут пронумерованы.

Пусть производственная система состоит из  $n$  процессов. Потребителю поступает поток продукции  $(q^n, r^n)$ . (Индексы сверху будем использовать для характеристик потока, снизу – для характеристик процессов). Тогда, управляя стратегиями контроля, производитель должен решить следующую задачу:

$$\begin{cases} r^n \rightarrow \min \\ q^n = 1 \end{cases} \quad (3.2.1)$$

Характеристики процесса  $A_i, i = 1, \dots, n$  считаем известными (из предыдущего опыта производства или по некоторым расчетным значениям). Для процессов производства такими характеристиками будут являться:

- стоимость обработки единицы объема продукции ( $r_i$ )
- доля качественной продукции на выходе, получаемой из качественной продукции на входе ( $q_i$ ).

Для процессов контроля известна стоимость проверки единицы объема продукции ( $c_i$ ). Будем считать, что процесс контроля качества возможен после каждого из процессов производства. Если это не так, то можно считать  $c_i = \infty$ . Теперь рассмотрим, как меняются потоки продукции в результате процессов производства и контроля качества. Для этого введем понятие функций производства и контроля качества.

Для того, чтобы рассматривать двухкритериальную оптимизационную задачу, перейдем везде от общих затрат к удельным. При этом удельные затраты для потока объема  $a$  с затратами  $r$  становятся равны  $r/a$ , а доля дефектной продукции не меняется. Другими словами, поток  $(a, q, r)$  эквивалентен потоку  $(q, r/a)$ .

Функции преобразования входных потоков в выходные будут также оперировать с удельными затратами.

Введем понятие функции процесса. Пусть на входе параметры потока равны  $(q, r)$ . Тогда параметры потока на выходе  $(q^l, r^l)$  определяются функцией  $f(q, r)$  процесса:

$$(q^l, r^l) = f(q, r) = (f_q(q, r), f_r(q, r)), \quad (3.2.2)$$

где  $f_q, f_r$  - вещественные функции. От этих функций требуется выполнение следующих очевидных условий:

$f_q(q, r) = f_q(q)$  – неубывающая функция  $q$ , не зависит от  $r$ .

$f_r(q, r)$  – функция, невозрастающая по  $q$ , неубывающая по  $r$ .

В рассматриваемой задаче используются два типа функций: производства и контроля. Для процессов, не имеющих входных дуг (чаще всего им соответствуют ресурсы) выходные потоки будут равны  $(q_p, r_i)$ . Рассмотрим остальные процессы. Пусть на вход процесса  $A_i$  подаются  $m$  потоков с параметрами

$$(q^j, r^j), j=1..m.$$

Сам процесс обладает характеристиками  $q_i$  и  $r_i$ . Тогда, если считать, что качественным изделие будет являться только в случае успешного завершения самого процесса и отсутствия дефектов во всех заготовках, получим, что после производства выходной поток будет обладать параметрами:

$$(q_i \cdot \prod_{j=1}^m q^j, r_i + \sum_{j=1}^m r^j). \quad (3.2.3)$$

В случае, когда на вход процесса подается  $m$  потоков, функция производства представляет собой функцию  $2m$  переменных (при заданных  $q_p, r_i$ )  $f_{np-ва}(q^1, q^2, \dots, q^m, r^1, r^2, \dots, r^m)$ . Однако в рассматриваемых случаях она представима в виде  $f_{np-ва}(q, r)$ , где

$$q = \prod_{j=1}^m q^j, \quad r = \sum_{j=1}^m r^j. \quad (3.2.4)$$

Формулы (3.2.3) и (3.2.4) верны в случае, когда на вход процесса  $A_i$  необходимо подать по единице объема продукции с каждого из входящих потоков.

В общем случае для каждого из  $m$  входящих потоков должны быть известны величины  $v^j$  – количество единиц объема продукции, соответствующей входному потоку  $(q^j, r^j)$ , необходимое для получения единицы продукции на выходе процесса  $A_i$ . Например, для производства одной детали А необходимо три детали В и одна деталь С. Тогда  $v^B=3$ ,  $v^C=1$ .

Соответственно, для вычисления  $q$  и  $r$  (аргументов функции  $f_{\text{пр-ва}}$ ) используются модифицированные формулы, с учетом различных объемов потоков:

$$q = \prod_{j=1}^m (q^j)^{v^j}, \quad r = \sum_{j=1}^m v^j r^j. \quad (3.2.5)$$

В обоих случаях функция производства для  $i$ -го процесса равна

$$f_{\text{пр-ва}}(q, r) = (q q_i, r + r_i). \quad (3.2.6)$$

Также можно предусмотреть вариант усложнения задачи, а именно: для каждого процесса функция производства может быть не фиксированной, а произвольной из некоторого заданного конечного множества альтернатив (технологий производства)  $\{f_k\}$ ,  $k=1..n_i$ .  $n_i$  – число альтернативных стратегий производства для  $i$ -го процесса:

$$f_k(q, r) = (q q_{ik}, r + r_{ik}), \quad (3.2.7)$$

где  $q_{ik}, r_{ik}$  – известны. Тогда наряду с нахождением оптимальных стратегий контроля может стоять вопрос и об оптимальных стратегиях производства.

Рассмотрим сплошной контроль с разбраковкой. Если контроль не проводить, то характеристики потока не меняются:

$$f_0(q, r) = (q, r). \quad (3.2.8)$$

Если контроль проводится, то после разбраковки характеристики равны  $(q, 1, r+c)$  или, после описанной выше процедуры перехода к удельным затратам,  $(1, 1, (r+c)/q)$ , где  $c$  – стоимость контроля единицы продукции на данном участке. Сплошной контроль с изъятием из партии всех дефектных экземпляров дает

$$f_1(q, r) = (1, (r+c)/q). \quad (3.2.9)$$

Рассмотрим еще одну стратегию контроля качества – контроль доли ( $0 \leq a \leq 1$  – задано) продукции с разбраковкой. Подобный подход описан в (Орлов 2004). Это означает, что проверяется не вся продукция, а ее часть (какие именно экземпляры – выбирается случайно, при этом считаем, что доля качественной продукции в проверяемой части равна доле качественной продукции во всем объеме продукции). При обнаружении в проверяемой продукции некачественных изделий они



изымаются из производства. После контроля проверенная и непроверенная части вновь объединяются в один поток и далее не различаются. Для такого контроля

$$f_a(q,r) = (f_q(q), f_r(q,r)), \quad (3.2.10)$$

$$f_q(q) = \frac{a+q^2-aq^2}{a+q-aq}, \quad (3.2.11)$$

$$f_r(q,r) = \frac{(r+ac)f_q(q)}{q}. \quad (3.2.12)$$

При этом отсутствие контроля и сплошной контроль оказываются частными крайними случаями такого частичного контроля ( $a=0$  и  $a=1$  соответственно, формулы остаются в силе)

Возникает вопрос: возможна ли ситуация, при которой частичный контроль был бы более выгодным, чем сплошной и нулевой? И при каких характеристиках потока и процессов это возможно?

Зафиксируем стратегии на всех участках производства, кроме одного процесса частичного контроля (не последнего). Допустим, что на входе этого процесса поток продукции обладает характеристиками  $(q,r)$ . Соответственно на выходе получаем  $(q_p, r_p)$  ( $c$ -стоимость проверки единицы объема продукции)

$$q_1(a) = \frac{a+q^2-aq^2}{a+q-aq}, r_1(a) = \frac{(r+ac)q_1(a)}{q}, a \in [0,1]. \quad (3.2.13)$$

Так как процесс не последний, пройденная через него продукция еще должна подвергнуться сплошному контролю. Пусть  $r_2$ - стоимость обработки единицы продукции на промежутке между частичным контролем и сплошным (в том числе и сам контроль),  $q_1, q_2$ - доля качественной продукции на входе сплошного контроля ( $q_2$ -общее качество производственных процессов между этими участками контроля). Тогда

$$r^*(a) = \frac{r_1(a)+r_2}{q_1(a)q_2} \quad (3.2.14)$$

- затраты на производство единицы качественной продукции на выходе сплошного контроля. Как видно, параметр  $q_2$  на поведение функции не влияет. Поэтому дальше опустим индекс у  $q_1$ . Выясним, может ли функция  $r^*(a)$  достигать минимума внутри интервала  $(0,1)$ . Продифференцировав по  $a$  и приравняв к нулю производную, найдем единственное решение, которое может быть неотрицательным:

$$a^* = \frac{q\sqrt{\frac{r_2}{c}(1-q)} - q^2}{1-q^2}. \quad (3.2.15)$$

Было установлено, что эта точка соответствует минимуму функции  $r^*(a)$ .

После этого не представляет труда найти такие значения параметров  $r_2$ ,  $c$ ,  $q$ , при которых  $a^* \in (0,1)$ , то есть проведение частичного контроля выгоднее, чем проведение сплошного или полное его отсутствие:

$$a^* < 1 \Rightarrow \frac{r_2}{c} < \frac{1}{q^2(1-q)}; \quad (3.2.16)$$

$$a^* > 0 \Rightarrow \frac{r_2}{c} > \frac{q^2}{1-q}. \quad (3.2.17)$$

Изобразим эти решения. Пусть ось абсцисс соответствует параметру  $q$ , а ось ординат – отношению  $r_2/c$  (см. рис. 3.2.3). Тогда частичный контроль будет выгоден, если точка с координатами  $(q, r_2/c)$  будет находиться между графиков двух функций. В условиях современного производства, когда качество постоянно повышается, особый интерес представляет окрестность правой границы отрезка.

При стремлении  $q$  к единице линии становятся все ближе друг к другу, однако расстояние между ними по оси ординат в пределе есть

$$\lim_{q \rightarrow 1} \left( \frac{1}{q^2(1-q)} - \frac{q^2}{1-q} \right) = \lim_{q \rightarrow 1} \frac{(1+q)(1+q^2)}{q^2} = 4, \quad (3.2.18)$$

то есть для любого уровня качества возможна ситуация, когда проведение частичного контроля является оптимальным решением.

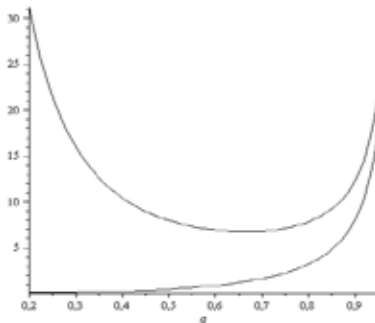


Рис. 3.2.3. Графическое представление решения неравенства  $0 < a^* < 1$

Для решения поставленной задачи будем использовать метод динамического программирования (Таха 2005). Для его применения необходимо отсеивать точки по какому-либо признаку. Очевидно, что если имеются два варианта потока с параметрами  $(q_1, r_1)$  и  $(q_2, r_2)$  и одновременно выполняются неравенства  $q_1 \geq q_2$  и  $r_1 \leq r_2$ , причем в одном из неравенств знак строгий, то дальнейшее рассмотрение второго потока нецелесообразно, так как уже к этому моменту он отвечает более низкому качеству продукции при более высоких затратах. Основанием для этого служит монотонность функций производства и контроля по своим аргументам. Таким образом, будем отсеивать на выходе каждого процесса  $A$  множество вариантов потока продукции, отличное от множества Парето для двухкритериальной задачи  $r^j \rightarrow \min$ ,  $q^j \rightarrow \max$  (Вагнер 1972).

Для каждой комбинации входных потоков найдем на выходе множество точек, соответствующих различным стратегиям. Объединяя эти множества по всем таким комбинациям и находя множество Парето для объединения, получим потенциально оптимальные варианты потоков продукции. Эту операцию можно проводить для каждого процесса сети.

На последнем этапе (перед отправкой потребителю) один из критериев (качество) выходит на первый план и можно найти минимальные затраты, соответствующие столь высокому качеству. Для того чтобы после этого восстановить непосредственно стратегию контроля, для каждой точки множества Парето необходимо помнить ее предков - точки, комбинацией которых она была порождена, а также стратегию контроля (и, возможно, производства), соответствующую этой точке. В итоге получаем

### **АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**

1. Привести производственную структуру к форме дерева, продублировав разветвляющиеся процессы.
2. Ввести правильную нумерацию вершин-процессов.
3. Для всех процессов, являющихся листьями полученного дерева, принять множество входных потоков за  $\{(1,0)\}$ .
4. Выбрать необработанный процесс  $A$  с минимальным номером. Если все вершины обработаны, перейти к шагу 8.
5. У процесса  $A$  вычислить множество выходных потоков  $S$  для всех возможных комбинаций элементов из множества входных потоков (по одному из каждого множества). Если у процесса  $A$   $m$  входящих потоков, принимающих одно из  $k_1, k_2, \dots, k_m$  значений соответственно, и имеется  $n$  вариантов функций самого процесса  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , то

число возможных комбинаций  $|S| = k_1 k_2 \dots k_m n$ .

6. Оставить в множестве  $S$  только точки, эффективные по Парето. Для каждой точки множества  $S$  запомнить набор входных потоков и номер  $j$  функции процесса  $f_j$ , которые ее породили.

7. Пометить процесс  $A$  как обработанный. Перейти к шагу 4.

8. У процесса с максимальным номером в множестве выходных потоков найти поток с максимальным качеством.

9. По данному потоку восстановить породившую его функцию (выдать в качестве ответа) и весь набор входных потоков.

10. Для каждого из входных потоков данного процесса выполнить шаги 9, 10.

11. Завершение алгоритма.

В соответствии с предложенным алгоритмом решения была написана тестовая программа, находящая оптимальные стратегии контроля для древовидной производственной системы. Работа программы проверялась на большом числе контрольных примеров со случайными входными данными из задаваемых диапазонов. Для небольших производственных систем была выполнена проверка решения методом полного перебора вариантов, давшая положительный результат для всех примеров. Была оценена эффективность механизма отсеивания точек. С ростом числа процессов системы процент отсеиваемых точек возрастал, то есть эффективность алгоритма увеличивалась быстрее роста количества возможных вариантов. Кроме того, регулярно, особенно для громоздких систем, на некоторых участках становится выгодным частичный контроль. В программе имеется возможность менять шаг приращения параметра  $a$ , что позволяет находить его значение с достаточной точностью (целевая функция практически не изменялась). Максимально эффективно программа работает для линейных и близких к ним структур. Но и для разветвленных производственных систем отношение оставшихся на последнем шаге вариантов к их общему возможному количеству очень мало. В среднем же, отношение теоретического числа возможных стратегий к числу стратегий, оставшихся к последнему этапу производства, имело порядок около  $10^{12}$  (для производственной системы, состоящей из 20 процессов). Даже для задач с достаточным количеством процессов (до ста) длительность работы программы не превышала нескольких секунд.

В рассматриваемой задаче можно ввести дополнительные ограничения, например, ограничение на стоимость производства единицы готовой продукции. В этом случае в результате может получиться

уровень качества ниже единичного. Задача принимает вид:

$$\begin{cases} q^n \xrightarrow{S} \max \\ r^n \leq R \\ S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\} \end{cases}, \quad (3.2.19)$$

где  $k$  - число всевозможных наборов функций процессов,  $S$  - набор всех возможных стратегий. Для решения этой задачи достаточно исключить из множества  $S$  не только неэффективные точки, но и не соответствующие ограничению. Если множество выходных потоков при этом окажется пустым, то производство, не превышающее данных затрат, невозможно ни при каком уровне качества. Также возможна постановка двойственной задачи: определить минимальные затраты производства единицы продукции таким образом, чтобы доля качественной продукции была не меньше заданного  $Q$ .

$$\begin{cases} r^n \xrightarrow{S} \min \\ q^n \geq Q \\ S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\} \end{cases}. \quad (3.2.20)$$

Аналогично можно рассмотреть задачу максимизации линейной свертки критериев:

$$\begin{cases} \varphi \xrightarrow{S} \max \\ S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\} \end{cases}. \quad (3.2.21)$$

$$\varphi = \alpha q^n - \beta r^n, \quad \alpha, \beta \geq 0, \quad \alpha + \beta = 1$$

В любом случае оптимальная точка, соответствующая всем возможным ограничениям (если решение вообще существует) будет принадлежать множеству Парето выходных потоков последнего процесса.

## ГЛАВА 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДАПТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Организационные системы должны приспосабливаться к внутренним и внешним изменениям, сохраняя свою конкурентоспособность и целостность. Такого рода приспособительные механизмы называют адаптационными реакциями. Теория адаптационных реакций достаточно хорошо разработана применительно к организму и допускает содержательное обобщение на уровень организаций. В организационном управлении известны понятия адаптивной (О.Тоффлер) и креативной (В.Л.Иноземцев) корпорации, сформулированные в результате изучения приспособления современных организаций к стремительно меняющимся условиям функционирования.

В менеджменте качества идеи адаптации реализуются посредством понятий коррекции (исправления несоответствий), корректирующих и предупреждающих действий. Согласно стандарту ИСО 9001-2008, организация в обязательном порядке должна предпринимать корректирующие действия для предупреждения повторного возникновения несоответствий путем устранения их причин. При этом важную роль играет организационный мониторинг, позволяющий установить наличие несоответствий и их природу. Особые причины требуют для своего устранения специальных действий, а системные – общего совершенствования системы менеджмента. Правильно организованная система мотивации позволяет создать условия для автоматического обеспечения адаптации.

Стандарт ИСО 9001-2008 устанавливает, что организация должна определять действия для устранения причин потенциальных несоответствий, чтобы предупредить их возможное появление в будущем. Таким образом, предупреждающие действия выполняют функцию превентивной адаптации. В силу их прогностической природы необходимым инструментом осуществления предупреждающих действий является имитационное моделирование (компьютерная имитация).

### 4.1. Понятие адаптивности и его организационная специфика

Деятельность по сохранению гомеостаза при внешних воздействиях называется адаптацией. Современная теория адаптации организма основана Г.Селье (1960) и развита в работах Л.Х.Гаркави с соавторами (1979). В рамках этих исследований сформировано представление

об адаптационных реакциях как способах приспособления организма к внешним воздействиям. Установлено, что в ответ на различные по силе раздражители в организме возникают качественно различные реакции, а именно: на слабые воздействия – реакция тренировки, на средние – реакция активации, на сильные – стрессорная реакция. В свою очередь, реакция тренировки включает стадии ориентировки, перестройки и тренированности, реакция активации – стадии первичной и стойкой активации, стресс можно подразделить на эустресс, дистресс и окончательное истощение. В то же время, общая картина реакции организма на внешние воздействия более сложна: по мере возрастания силы (величины) воздействия от пренебрежимо малой до смертельной происходит многократная смена триад адаптационных реакций (тренировка, активация, стресс), разделенных между собой промежуточной зоной ареактивности.

Адаптационные реакции тесно связаны с резистентностью (устойчивостью) организма. В случае тренировки происходит постепенное, а в случае активации – быстрое повышение резистентности, в то время как при стрессе резистентность снижается, поскольку организм вынужден жертвовать существенными ресурсами для адаптации к сильным повреждающим воздействиям. Однако путем специальных методов можно перевести стресс даже в стадии истощения в реакцию тренировки и активации, используя функциональные резервы организма и спасая его от гибели. Специалисты отмечают, что «решению проблемы управления резистентностью должно способствовать создание математической и кибернетической модели адаптационных реакций» (Гаркави и др. 1979:108).

Представляется целесообразным и перспективным обобщить идеи, понятия и методы физиологической теории адаптационных реакций на более широкий класс произвольных динамических систем. Динамическую систему назовем адаптивной, если она способна сохранять свой гомеостаз в определенном диапазоне воздействий (нагрузок) с помощью механизмов адаптации к воздействию. Адаптивные системы имеют иерархическую структуру, включающую следующие элементы: система-объект воздействия; внешние воздействия в некотором диапазоне; адаптационные реакции (механизмы адаптации) системы, зависящие от воздействия и состояния системы. Кроме того, в понятие адаптивной системы входит область гомеостаза, в которой возможно нормальное существование и развитие системы.

Целесообразно различать «встроенные» и «вынесенные» механизмы адаптации. «Встроенный» механизм адаптации является неотъемлемой частью адаптивной системы (как, например, в организме

человека). «Вынесенный» механизм адаптации является относительно независимым от адаптивной системы образованием, целью которого, однако, выступает сохранение гомеостаза адаптивной системой (скажем, трудовая инспекция, которая как бы «выражает интересы» сотрудников организаций). Таким образом, иерархически управляемая динамическая система является адаптивной системой, в которой управляемая динамическая система есть объект воздействия, Ведомый - источник воздействия (наряду с неконтролируемыми факторами), а Ведущий играет роль вынесенного механизма адаптации (Угольницкий 1997).

Важнейшую роль играет адаптация применительно к организации как социальному организму, который обязан реагировать на изменения внешней и внутренней среды и приспосабливаться к ним под угрозой потери конкурентоспособности и гибели. Проблема адаптивности организаций приобрела особую актуальность во второй половине прошлого века, когда условия функционирования организаций стали значительно более динамичными по сравнению с более ранними историческими периодами.

В 1970-х годах группой И.М. Сыроежина было определено понятие механизмов настройки управления (административный, информационный, структурный), обеспечивающих адаптивность организации. Возникающую проблемную ситуацию встречает информационный механизм, который пытается осуществить ее идентификацию, адресацию и разрешение. Этот механизм хорошо работает для типовых проблемных ситуаций, способы преодоления которых уже заложены в существующей организационной структуре. Если выявленная проблема является для организации новой и имеющееся разделение ответственности и полномочий не обеспечивает ее решения, то начинает действовать административный механизм. С его помощью осуществляется поиск структурного элемента, обладающего необходимыми ресурсами и компетенцией для решения новой проблемы. Если такая попытка оказывается удачной, то настройка считается завершенной; в противном случае в действие вступает структурный механизм, изменяющий распределение ресурсов и действующий регламент распорядительства. Если и структурный механизм оказывается бессильным, то организация должна получить помощь извне или распаться (Методы структурной настройки 1976:21-22).

Более широкая трактовка адаптивности организаций дана в работах исследователей постиндустриального общества. Основоположник теории постиндустриализма Д.Белл характеризует трансформацию корпораций во второй половине прошлого века как движение от



«экономизации» к «социологизации». Основными чертами корпораций в начале XX века были рациональная концепция производства и управления, четкая иерархическая структура, бюрократический регламент, использование точных методов. Как писал один из крупнейших американских практиков и теоретиков менеджмента, руководитель корпорации «Дженерал моторс» А.Слоун: «В автомобильной промышленности нельзя действовать без программирования и планирования. В предвидении будущего необходимо опираться на цифры» (Sloan 1964:136).

Д.Белл определяет «экономизацию» как «науку лучшего распределения ограниченных ресурсов между конкурирующими сторонами» (Белл 1999:372). При этом конкурентные взаимодействия, соответствующие концепции экономической рациональности, распространяются как на связи между различными корпорациями, так и на внутренние корпоративные отношения. В этом случае главной ценностью признается удовлетворение эгоистических интересов отдельного индивида, что ведет к возникновению целого ряда противоречий между личностью и обществом. Снятие этих противоречий обеспечивается переходом к «социологизированной» модели корпорации. Если в «экономизированной» модели во главу угла ставится рост производства и максимизация прибыли корпораций, то теперь главным направлением расходования ресурсов становится удовлетворенность работников. Как отмечает Белл, корпорация «не может более оставаться организацией с узким предназначением – в случае производственной компании лишь инструментом выпуска товаров и услуг, - но должна стать приемлемым стилем жизни для своих членов. Она не только обязана удовлетворять своих клиентов, но должна быть приятной для себя самой» (Белл 1999:390). Эта концепция впоследствии нашла отражение в менеджменте качества, требующем удовлетворять не только внешних, но и внутренних потребителей, то есть сотрудников организации.

Рассмотрение Д.Беллом корпорации как социологического института, в частности, ведет к необходимости расширения пространства показателей ее состояния и тем самым множества условий гомеостаза. Если в «экономизированной» модели требования гомеостаза относятся только к производственным и экономическим показателям функционирования организации, то в «социологизированной» модели они распространяются также на характеристики самочувствия работника, возможности его самореализации и самоактуализации. Белл перечисляет ряд аспектов, которые должны учитываться при построении и функционировании «социологизированной» модели:

удовлетворенность работой, наем национальных меньшинств, относительная оплата руководителей и рядовых сотрудников, ответственность перед местным сообществом и ответственность за состояние окружающей среды, моральные проблемы. Учет этих аспектов необходим для обеспечения комплексной адаптивности современной корпорации, по крайней мере, в тенденции.

В значительной степени речь здесь идет о часто используемом понятии социальной ответственности бизнеса. Как известно, крайняя точка зрения на этот счет принадлежит М.Фридману, который считал, что социальная ответственность топ-менеджеров корпораций состоит исключительно в отстаивании финансовых интересов акционеров, разумеется, в рамках законов и этических норм. Однако критики Фридмана отмечают, что эта точка зрения приемлема лишь с точки зрения краткосрочных интересов, в то время как долговременная стратегия должна включать в себя решение социальных задач. Получение прибыли бессмысленно в условиях роста социальной напряженности и конфликтов, которые могут приобрести самую нежелательную и опасную форму. Кроме того, корпорацию нельзя рассматривать исключительно как искусственный инструмент, созданный для удовлетворения нужд ее акционеров. Это самостоятельный социальный организм, обладающий сложной внутренней структурой и противоречивым целеполаганием. Корпорация сама устанавливает определенное соотношение между сиюминутными интересами ее владельцев и долгосрочными нуждами общества, в том числе своих сотрудников как части этого общества.

Таким образом, адаптивность связана с проблематикой устойчивого развития, требующего балансирования краткосрочных и долгосрочных интересов при все более возрастающей роли последних. Организации, стремящиеся лишь к максимизации текущей прибыли, неизбежно утрачивают свою конкурентоспособность и уступают место более дальновидным коллегам.

Термин «адаптивная корпорация» принадлежит американскому социологу и публицисту О.Тоффлеру (Тоффлер 1999). Ключом к адаптивности Тоффлер считает квалифицированный менеджмент (то есть правильное управление людьми, образующими компанию), и внимание к внешним потребителям товаров и услуг корпорации. Он указывает на следующие проблемы, которые должны быть решены для обеспечения адаптивности:

- дополнение материальных стимулов возможностями для творческой самореализации сотрудников;
- внимание к информации, которая играет даже большую роль,

чем традиционные факторы производства;

- переход от производства стандартизированных однотипных изделий к изготовлению индивидуализированных товаров и услуг, учитывающих специфические требования потребительских групп и даже отдельных клиентов;

- реорганизация организационных структур от жесткой бюрократической иерархии к гибким образованиям, способным более эффективно реагировать на неожиданные изменения внешней и внутренней среды, обеспечивать быструю обратную связь, мотивировать инициативу сотрудников;

- создание модульных структурных единиц, образованных по командному принципу и имеющих определенный срок функционирования – от нескольких лет до нескольких дней.

Тоффлер подчеркивает, что изменения в среде функционирования корпорации качественно ускоряются, что делает невозможным традиционные методы руководства и требует большей децентрализации и решительного делегирования полномочий. По его мнению, «эффективные решения должны сегодня приниматься на все более и более низких уровнях организации. Требования участия в управлении продиктованы, таким образом, не политической идеологией, а тем, что система в ее нынешнем структурном виде не в состоянии эффективно реагировать на быстро изменяющуюся среду» (Тоффлер 1999:462).

Идеи изменения природы современной корпорации развивает российский исследователь постиндустриального общества В.Л.Иноземцев (1998). По его мнению, сущностной чертой корпорации в нынешних условиях является ее функционирование как социального организма, объединяющего работников, владеющих способностью к труду и средствами производства. Формирование основ постиндустриального общества связано с постепенным преодолением экономической мотивации работников, что ведет к изменению природы корпораций. По мнению известного специалиста по организационному управлению М.Хаммера, в настоящее время «корпорация представляет собой нечто большее, нежели совокупность процессов, большее, чем набор продуктов и услуг, и даже нечто большее, нежели ассоциация трудящихся людей; она является также человеческим сообществом» (Hammer 1996:153). Поэтому основные движущие черты организационной динамики определяются не столько внешними, сколько внутренними факторами – интересами ее сотрудников.

В.Иноземцев выделяет следующие группы факторов перехода корпораций от индустриального к постиндустриальному типу, выступающие в качестве необходимых условий ее адаптивности. Во-первых,

это увеличение удельного веса и соответственно роли интеллектуальных работников. В обществе, основанном на знаниях, пролетариат дополняется и в значительной степени вытесняется «когнитариатом». Его представители «не являются ни фермерами, ни рабочими, ни бизнесменами, а лишь работниками своих организаций ... они не принадлежат к пролетариату и не могут эксплуатироваться как класс ... Меняя свою работу ... они не меняют свои экономические и социальные позиции» (Drucker 1996:22-23). Поскольку эти люди давно удовлетворили свои базовые материальные потребности и стремятся преимущественно к самореализации, к ним неприменимы методы традиционного менеджмента. Как пишет тот же признанный авторитет П.Друкер, «интеллектуальными работниками следует управлять таким образом, как если бы они были членами добровольных организаций» (Drucker 1997:148), то есть на основе убеждения. Во-вторых, трансформации подвергается производственная деятельность, в которой акцент смещается с отдельных операций на получение целостного продукта. При этом во главу угла становится важнейший принцип менеджмента качества – процессный подход. Как отмечает уже цитированный М.Хаммер, «пришло время процесса. Процессы не могут более быть пасынками бизнеса, оставаясь без признания, внимания и уважения. Теперь они должны занять центральное место в организации» (Hammer 1996:13). Соответственно возрастает роль индивидуальности работника – в первую очередь владельцев процессов, но также и других их участников, без творческих усилий которых невозможно достижение общей цели. В-третьих, вслед за производством меняется управление. Здесь основную роль играют модульные структуры и командный принцип организации работы. Команды наиболее естественно и эффективно обеспечивают условия для самореализации творческих личностей и способствуют повышению адаптивности.

Все это позволяет говорить о возникновении следующего, еще более продвинутого по сравнению с адаптивными корпорациями уровня организационного развития – креативных корпораций (Иноземцев 1998). Креативная корпорация направлена не столько на решение традиционных экономических задач, сколько на удовлетворение постэкономических потребностей ее основателей. Креативные корпорации зарождаются в недрах традиционных корпораций и проходят путь от постепенной индивидуализации производимых продуктов и услуг к социализации своих основателей в качестве владельцев компании, которая становится самоцелью их деятельности. Соответственно, ключевую роль в креативных корпорациях играет творческая лич-

ность их владельца, который олицетворяет компанию и фактически выступает основным фактором ее рыночной стоимости. Такие люди, как Б.Гейтс, С.Джобс, Р.Брэнсон, Е.Касперский и им подобные неотделимы от корпораций, которые они возглавляют. Здесь важно не то, что они являются основными акционерами, а то, что они олицетворяют созданное ими сообщество, несут за него добровольную ответственность и относятся к бизнесу как своему творению. Креативные корпорации реализуют концепцию конструктивного маркетинга, отказываясь от пассивного следования запросам потребителей и формируя принципиально новые потребности. Креативные корпорации постоянно порождают в своих недрах новые компании, формируя новую среду постиндустриального общества. Конечно, они не вытесняют прежние типы корпоративных структур, но определяют тенденции развития нового общества и становятся главным источником экономического и социального прогресса.

Еще один выдающийся исследователь постиндустриального общества М.Кастельс (2000) видит основную тенденцию организационной динамики в появлении предприятий сетевого типа, включающим организацию межфирменных сетей, стратегические корпоративные альянсы, глобальные деловые сети. При этом надо отметить два момента. Во-первых, все более важное место принадлежит малым и средним предприятиям. Однако Кастельс диалектически замечает: «В одно и то же время истинно то, что мелкие и средние предприятия представляются формами организации, хорошо приспособленными к гибкой производственной системе информационной экономики, а также и то, что их обновленный динамизм попадает под контроль крупных корпораций, остающихся в центре экономической структуры новой глобальной динамики» (Кастельс 2000:161). Во-вторых, в функционировании предприятий новой экономики ведущую роль играют информационные технологии. Как считают американские специалисты Дж.Бойетт и Г.Кон: «Способность крупных американских компаний перестроить себя так, чтобы выглядеть и действовать как малые предприятия, можно, по меньшей мере отчасти, приписать развитию новой технологии, делающей целые слои менеджеров и их аппарата ненужными» (Boyett and Cohn 1991:23).

Таким образом, проблема адаптивности современных организаций включает следующие аспекты:

- адаптивность должна распространяться не только на отношения организации с внешней средой, но в решающей степени на вызовы, возникающие внутри организаций. Адаптивный менеджмент зиждется на учете интересов сотрудников организаций, их мотивов, вы-

ходящих за рамки традиционных экономических потребностей;

- необходимо поддерживать баланс между краткосрочными интересами акционеров и долгосрочными интересами сотрудников и общества в целом, что подчеркивает природу корпоративных адаптационных реакций как механизма устойчивого развития организаций;

- адаптивность тесно связана с новыми чертами нарождающегося постиндустриального общества: творческим характером производственной деятельности, постэкономической мотивацией интеллектуальных работников, гибкими организационными структурами;

- необходимым условием успешной адаптации является активное использование информационных технологий;

- задачи организационной адаптации отражены в таких принципах менеджмента качества, как ориентация на потребителя (не только внешнего, но и внутреннего), процессный подход, постоянное улучшение.

#### 4.2. Коррекция и корректирующие действия

Теоретической основой указанных в заголовке параграфа действий выступают положения кибернетики. Рассмотрим соответствующую математическую модель, следуя работе (Моисеев 1981).

Пусть имеется управляемая динамическая система

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x(t), u(t), \xi(t)), \quad (4.2.1)$$

где  $x(t)$  – вектор состояния (фазовый вектор),  $u(t)$  – вектор управляющих воздействий,  $\xi(t)$  – вектор внешних воздействий в момент времени  $t$ . Предположим, что целью управления является перевод системы из начального состояния  $x(0)=x_0$  в конечное состояние  $x(T)=x_T$ . Поскольку на систему (4.2.1) воздействуют внешние факторы  $\xi(t)$ , то при любом управлении фазовый вектор  $x(t)$  будет случайной функцией времени. Поэтому цель управления  $x(T)=x_T$  необходимо заменить некоторым стохастическим условием, например,

$$J_1 = E((x(T) - x_T)^2) \rightarrow \min, \quad (4.2.2)$$

где  $E$  – математическое ожидание, или

$$J_2 = P\{\|x(T) - x_T\| < \varepsilon\} \rightarrow \max, \quad (4.2.3)$$

где  $P\{y < a\}$  означает вероятность того, что случайная величина  $y$  не превосходит детерминированной величины  $a$ . Функционал качества управления также лучше формулировать в стохастической форме типа

$$J_0 = \int_0^T E(F(x(t), u(t))) dt. \quad (4.2.4)$$

В первом приближении внешние возмущения можно считать малыми ( $\xi=0$ ). Тогда функция  $x(t)$  уже не будет случайным процессом и выражающие цель управления функционалы превратятся в конечные выражения. Например, функционал (4.2.2) примет вид

$$J_1 = (x(T) - x_T)^2$$

и будет достигать минимального значения при условии

$$x(T) = x_T. \quad (4.2.5)$$

Таким образом, возникает стандартная задача оптимального управления: определить управление  $u(t)$ , удовлетворяющее некоторым детерминированным ограничениям и переводящее систему

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), u(t), t, 0)$$

из состояния  $x(0)=x_0$  в состояние  $x(T)=x_T$  так, чтобы максимизировать некоторый функционал качества

$$J_0 = \int_0^T F(x(t), u(t)) dt. \quad (4.2.6)$$

Траектория  $x(t)$ , являющаяся решением этой задачи, называется программной траекторией (оптимальной программой), а реализующее эту траекторию управление  $u(t)$  – программным (оптимальным) управлением.

Однако проблема заключается в том, что в силу действия возмущающих факторов без дополнительных усилий система не сможет двигаться по оптимальной траектории. Как говорят специалисты, «вдоль программной траектории реальная ракета никогда не летает». Необходимо построение специальных механизмов управления, обеспечивающих коррекцию траектории при отклоняющем воздействии случайных факторов. Именно эта деятельность представляет собой адаптацию системы к внешним воздействиям. В технике такие механизмы управления называют «автопилотом». В менеджменте качества роль автопилота выполняют коррекции и корректирующие действия.

Математически можно показать, что корректирующее управление представляет собой функцию возмущающих факторов  $\xi(t)$ . Однако выбрать управление как функцию  $\xi$  трудно, поскольку для этого надо уметь измерять возмущающие факторы. Поэтому указанная зависимость учитывается косвенно посредством измерений значений

фазовых переменных или их отклонений от программного движения, то есть следует искать корректирующее управление в форме

$$v = v(t, x(t)). \quad (4.2.7)$$

Эта задача называется задачей управления с обратной связью, или задачей синтеза (Моисеев 1981). Вид функции (4.2.7) подчеркивает необходимость измерения значений переменных состояния, то есть связь задачи управления с задачей наблюдения (мониторинга).

Стандарт ИСО 9001-2008 также подчеркивает, что методы мониторинга и измерения процессов менеджмента качества должны проверять достижение запланированных результатов для процессов. Если плановые значения показателей процессов не достигаются, то следует предпринимать коррекции и корректирующие действия (п.8.2.3).

Под коррекцией в менеджменте качества понимается устранение самих несоответствий, а под корректирующими действиями – ликвидацию их причин. Поэтому корректирующие действия носят по сравнению с коррекцией более глубокий и принципиальный характер. В ряде случаев проведение коррекции может оказаться затруднительным, поскольку несоответствие уже произошло (например, дом не сдан в срок). Конечно, его все равно придется сдавать позже, но главное – не допустить отклонений от плана в будущем, устранив их причины.

Согласно стандарту ИСО 9001-2008, организация в обязательном порядке должна предпринимать корректирующие действия для предупреждения повторного возникновения несоответствий путем устранения их причин. При этом следует разработать документированную процедуру для определения требований:

- а) к анализу несоответствий (включая жалобы потребителей);
- б) к установлению причин несоответствий;
- в) к оцениванию необходимости действий, позволяющих избежать повторения несоответствий;
- г) к определению и осуществлению необходимых действий;
- д) к записям результатов предпринятых действий;
- е) к анализу результативности предпринятых корректирующих действий.

Таким образом, процедура осуществления корректирующих действий прежде всего включает в себя методы анализа возникающих несоответствий. Здесь основную роль играет описанная в предыдущей главе система мониторинга, обеспечивающая возможность сравнения текущих значений показателей процессов с плановыми значениями. Чем подробнее является система показателей процессов и выше точность наблюдений, тем более точными и обоснованными



могут быть заключения о несоответствиях.

После выявления несоответствий необходимо установить их причины. Это преимущественно творческая деятельность, осуществляемая владельцами процессов и их сотрудниками. Существенную помощь в данной работе могут оказать статистические методы, методика применения которых в менеджменте качества описана У.Шухартом, У.Э.Демингом и их коллегами и последователями. Здесь вновь следует вернуться к вопросу о различении особых и системных причин отклонений (вариаций). Особые причины требуют для своего устранения специальных действий, а системные – общего совершенствования системы менеджмента. Практическим инструментом различения особых и системных причин служат контрольные карты и другие статистические инструменты (Деминг 2007; Нив 2007).

Именно это различение в первую очередь имеет в виду следующий подпункт стандарта, требующий оценивания необходимости действий, позволяющих избежать повторения несоответствий. Здесь есть два аспекта. Если отклонение вызвано особой причиной и носит единичный характер, то может оказаться достаточной коррекция. Если же причина системная, то корректирующие действия обязательны, но при их проведении требуется осторожность. Дело в том, что согласно принципам Деминга попытка избежать отклонений, вызванных системными причинами, путем воздействия на отдельных работников и отдельные элементы производственного процесса является глубокой ошибкой. Такие действия ведут только к дальнейшему ухудшению ситуации, поскольку они еще сильнее разбалансируют систему. Системные причины ошибок (а они составляют подавляющее большинство) требуют системных действий по их устранению. Эти действия могут затронуть не только данный процесс, но и другие, и потребовать вмешательства руководства более высокого уровня.

После того, как определена природа отклонения, можно определять и осуществлять соответствующие ей корректирующие действия. Эти действия должны быть документированы в виде записей для последующего анализа и использования, в том числе для оценки результативности. Наиболее удобным и эффективным средством документирования является корпоративная информационная система, содержащая соответствующие блоки.

На наш взгляд, результативность и эффективность корректирующих действий тесно связана с системой мотивации сотрудников организации. В идеальном случае эта система должна обеспечивать автоматическое осуществление корректирующих действий. Иначе говоря, сотрудники организации должны быть

мотивированы избавляться от несоответствий и устранять их причины самостоятельно, без каких-либо специальных управляющих воздействий со стороны руководства.

Рассмотрим математическую модель стимулирования в организационной системе (Нурутдинова и Угольницкий 2010), используя работы (Васильева и др. 2007; Губко 2003; Губко и Новиков 2002; Новиков 2003). В (Новиков 2003) отмечено, что под стимулированием, или мотивацией, понимается внешнее воздействие на организм, личность или группу людей, побуждение к совершению некоторого действия. Механизм (система) стимулирования – правило принятия управляющим органом решений относительно побуждения управляемых субъектов к совершению требуемых действий. Под материальным стимулированием будем понимать совокупность форм и методов обеспечения и повышения материальной заинтересованности работников в достижении определенных результатов.

Простейшей игровой моделью является взаимодействие двух игроков – центра и подчиненного ему агента. В качестве центра выступает непосредственный руководитель агента или организация, заключившая трудовой (или какой-либо иной – страховой, подрядный и др.) договор с агентом. В качестве агента выступает наемный работник. Участники организационной системы (ОС) обладают способностью самостоятельного выбора действий (стратегий). Механизм стимулирования в ОС включает в себя систему стимулирования, которая полностью определяется функцией стимулирования, задающей зависимость вознаграждения агента от выбираемых им действий.

Стратегией  $i$ -го агента является выбор действия  $y_i \in A_i$ , где  $A_i$  – множество допустимых для него действий. Содержательно действием агента может быть количество отработываемых часов, объем произведенной продукции, значение ключевого показателя его работы, вектор показателей работы или некоторая свертка показателей. Пусть имеется  $n$  агентов,  $y = (y_1, \dots, y_n)$  – набор выбранных ими стратегий. Стратегией центра является выбор функции стимулирования  $\sigma(y) = (\sigma_1(y), \dots, \sigma_n(y))$ ,  $\sigma(y) \in M$ , где  $M$  – допустимое множество,  $\forall i = 1, \dots, n \sigma_i(y) \geq 0$ . Выбор действия требует от  $i$ -го агента затрат  $c_i(y_1, \dots, y_n)$  и приносит центру доход  $H(y_1, \dots, y_n)$ . Предполагаем, что  $c_i$  не убывает и  $c_i(0) = 0$ .

Интересы участников ОС (центра и агента) отражены их целевыми функциями, или функциями выигрыша. Выигрыш центра  $F(y, \sigma)$  – это разница между доходом и затратами на стимулирование, выигрыш агента  $f_i(y, \sigma_i)$  – разница между стимулированием и затратами:

$$F(y, \sigma) = H(y) - \sum_{i=1}^n \sigma_i(y); \quad (4.2.8)$$

$$f_i(y, \sigma_i) = \sigma_i(y) - c_i(y), \quad i = 1, \dots, n. \quad (4.2.9)$$

Обозначим  $P(\sigma)$  – множество решений игры. Тогда величина  $K(\sigma)$  называется эффективностью системы стимулирования  $\sigma$ :

$$K(\sigma) = \max_{y \in P(\sigma)} F(y, \sigma). \quad (4.2.10)$$

Задача нахождения наиболее эффективной системы стимулирования имеет вид:

$$K(\sigma) \rightarrow \max_{\sigma \in M}. \quad (4.2.11)$$

Решением будет являться система стимулирования  $\sigma^*(y) = (\sigma_1^*(y), \dots, \sigma_n^*(y))$  (решение не единственно):

$$\sigma_i^*(y) = \begin{cases} c_i(y) + \delta_i, & y_i = y_i^* \\ g_i(y), & y_i \neq y_i^* \end{cases}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.2.12)$$

где  $g(y) = (g_1(y), \dots, g_n(y))$ ,  $g_i(y) \leq c_i(y) \quad \forall y \in P(\sigma)$ ,  $y^*$  – оптимальное для центра действие,  $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_n)$  – вектор со сколь угодно малыми компонентами. Если выполняется гипотеза благожелательности, т.е. в случае безразличия для агента нескольких действий он выбирает наиболее благоприятное для центра действие, то можно положить  $\delta = 0$ .

При этом  $y^*$  находим из задачи оптимального согласованного планирования (ищем оптимальный план):

$$H(y) - \sum_{i=1}^n c_i(y) \rightarrow \max_{y \in A}. \quad (4.2.13)$$

Множество допустимых действий  $A$  определим так: введем ограничения на фонд заработной платы и сами действия:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n c_i(y) \leq R \\ a_i \leq y_i \leq b_i, \quad i = 1, \dots, n \end{cases}. \quad (4.2.14)$$

Получим стандартную задачу условной оптимизации, в результате решения которой для заданного в (4.2.14) фонда оплаты  $R$  находим максимальный выигрыш центра  $\Phi(R)$ :

$$\Phi(R) = \max_{y \in A} (H(y) - \sum_{i=1}^n c_i(y)) . \quad (4.2.15)$$

Если фонд заработной платы является переменной величиной, то его оптимальное значение  $R^*$  может быть найдено как решение задачи

$$R^* = \arg \max_{R \geq 0} [\Phi(R)] . \quad (4.2.16)$$

В связи с внедрением оптимальной системы стимулирования возникает ряд вопросов и трудностей:

1. Каким должно быть минимальное значение  $\delta$ , чтобы оно имело мотивационный эффект?
2. Малое значение  $\delta$  не обеспечивает достаточной устойчивости относительно возможных отклонений функции затрат  $c(y)$ , а ведь именно с ее идентификацией связаны наибольшие проблемы.
3. Если в организации уже существует некая система стимулирования (не оптимальная), то ее изменение может вызвать недовольство в коллективе.

Предложим вариант решения этих проблем. Пусть в организации уже существует некая система стимулирования  $w(y)$  (не оптимальная). Предположим, что она реализует вектор действий  $y^*$ . Это означает, в частности, что каждому агенту обеспечено неотрицательное вознаграждение. Будем считать для простоты, что  $\forall i=1, \dots, n \sigma_i(y) = \sigma_i(y_i)$  и  $c_i(y) = c_i(y_i)$ , что в основном и наблюдается на практике.

Пусть  $y^*$  – оптимальное для центра действие. Поставим задачу: не увеличивая фонд оплаты, а перераспределяя его, увеличить прибыль. При этом обеспечить каждому из агентов при выборе  $y^*$  то же значение целевой функции (4.2.9), которое достигалось при предыдущей системе стимулирования. Этим решаются проблемы 1) и 3). Построим функцию стимулирования  $\sigma(y)$  следующим образом:

$$\sigma_i(y_i) = \begin{cases} c_i(y_i) + w_i(y_i') - c_i(y_i') + \delta_i, & y_i = y_i^*, y_i \neq 0 \\ g_i(y_i), & y_i \neq y_i^*, y_i \neq 0, \\ 0, & y_i = 0 \end{cases} \quad (4.2.17)$$

$i=1, \dots, n$ , где  $\forall y_i \in A_i g_i(y_i) \leq c_i(y_i)$ ,  $i=1, \dots, n$ ,  $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_n)$  – вектор со сколь угодно малыми компонентами, возможно даже равными нулю, если выигрыш соответствующего агента при предыдущей системе

стимулирования был строго положителен. Остается вычислить  $y^*$ . Обозначим

$$s_i(y_i) = \begin{cases} c_i(y_i) + w_i(y'_i) - c_i(y'_i) & y_i > 0 \\ 0, & y_i = 0 \end{cases}, \quad (4.2.18)$$

$$R' = \sum_{i=1}^n w_i(y'_i) \quad (4.2.19)$$

– фонд оплаты при старой системе стимулирования. Задача примет вид:

$$\begin{cases} H(y) - \sum_{i=1}^n s_i(y_i) \rightarrow \max_y \\ \sum_{i=1}^n s_i(y_i) \leq R' \\ a_i \leq y_i \leq b_i, \quad i = 1, \dots, n \end{cases}. \quad (4.2.20)$$

Существует допустимое решение этой задачи  $y^*$  (считаем, что вектор  $y^*$  является допустимым), а значит, есть смысл говорить и об оптимальном решении  $y^*$ .

Если  $\forall i \ 0 \notin A_p$ , то перейдем к задаче (4.2.21).

$$\begin{cases} H(y) - \sum_{i=1}^n c_i(y_i) \rightarrow \max_y \\ \sum_{i=1}^n c_i(y_i) \leq \sum_{i=1}^n c_i(y'_i) \\ a_i \leq y_i \leq b_i, \quad i = 1, \dots, n \end{cases}. \quad (4.2.21)$$

При этом прибыль центра  $\tilde{F}$  вычисляется по формуле (4.2.22):

$$\tilde{F} = H(y) - \sum_{i=1}^n \tilde{n}_i(y) - \sum_{i=1}^n (w_i(y'_i) - c_i(y'_i)). \quad (4.2.22)$$

Из постановки задачи видно, что решение задачи (4.2.21)  $y^*$  есть вектор действий, обеспечивающий всем агентам не большие суммарные затраты и не меньший доход. Теперь рассмотрим случай, когда изменение системы оплаты должно коснуться не более чем  $m$  сотрудников,  $1 \leq m \leq n$ . Обозначим:

$$z_1 = y_{i_1}, z_2 = y_{i_2}, \dots, z_m = y_{i_m}; \quad (4.2.23)$$

$$y = (y'_1, y'_2, \dots, z_1, \dots, z_m, \dots, y'_n) \quad (4.2.24)$$

- вектор, у которого зафиксировано  $n - m$  координат, кроме  $i_1, i_2, \dots, i_m$ , по которым производится оптимизация. Тогда оптимизационная задача примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} H(y) - \sum_{i \in \{1, \dots, n\} / \{i_1, \dots, i_m\}} w_i(y'_i) - \sum_{i \in \{i_1, \dots, i_m\}} s_i(z_i) \xrightarrow{\substack{z_1, \dots, z_m \\ \{i_1, \dots, i_m\} \subset \{1, \dots, n\}}} \max \\ \sum_{i \in \{1, \dots, n\} / \{i_1, \dots, i_m\}} w_i(y'_i) + \sum_{i \in \{i_1, \dots, i_m\}} s_i(z_i) \leq R' \\ a_{i_k} \leq z_k \leq b_{i_k}, \quad k = 1, \dots, m \end{array} \right. \quad (4.2.25)$$

Теперь можно управлять набором номеров агентов  $\{i_1, \dots, i_m\}$  и их действиями (4.2.23).

Если  $\forall i \ 0 \notin A_i$ , то перейдем к задаче (4.2.26).

$$\left\{ \begin{array}{l} H(y) - \sum_{i \in \{i_1, \dots, i_m\}} (c_i(z_i) - c_i(y'_i)) \xrightarrow{\substack{\{i_1, \dots, i_m\} \subset \{1, \dots, n\} \\ y'_1, \dots, y'_m}} \max \\ \sum_{i \in \{i_1, \dots, i_m\}} c_i(z_i) \leq \sum_{i \in \{i_1, \dots, i_m\}} c_i(y'_i) \\ a_{i_k} \leq z_k \leq b_{i_k}, \quad k = 1, \dots, m \end{array} \right. \quad (4.2.26)$$

При этом прибыль центра  $\tilde{F}$  вычисляется по формуле (4.2.27):

$$\tilde{F} = H(y) - \sum_{i \in \{i_1, \dots, i_m\}} (c_i(z_i) - c_i(y'_i)) - \sum_{i=1}^n \sigma_i(y_i), \quad (4.2.27)$$

где  $\tilde{F}$  – целевая функция задачи (4.2.25). Эта задача сводится к  $C_m^n$  задачам типа (4.2.8). В этой же модели, зафиксировав ряд переменных, легко предусмотреть и случай, когда нежелательно менять систему оплаты для определенных сотрудников.

Теперь рассмотрим алгоритм решения. В общем случае задача (4.2.25) и ее частный случай (4.2.20) – задачи нелинейной оптимизации, к тому же функции  $s_i(y)$  не непрерывны. Отойдем от предположения о том, что множество действий имеет мощность континуума. В реальности всегда существуют пороги тарификации, связанные с единицами измерения показателей труда или с денежными единицами. Будем считать, что  $y_i \in A_i$ , где  $A_i$  – конечное множество.

Задачу можно решить полным перебором всех векторов действий, но это не лучший вариант. Так как предполагается, что стимулирование зависит только от действий самого агента и затраты агентов сепарабельны, то есть

$$\sigma_i(y) = \sigma_i(y_i), \quad c_i(y) = c_i(y_i), \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall y \in A, \quad (4.2.28)$$

то можно рассмотреть более экономичный алгоритм – заранее отсекают векторы действий, первые  $k$  компонент которых уже не удовлетворяют ограничениям ни при каком значении остальных компонент.

Пусть, кроме того, функция дохода аддитивна:

$$H(y) = \sum_{i=1}^n h_i(y_i). \quad (4.2.29)$$

Тогда можно отсекают также и векторы, первые компоненты которых дают меньший доход при не большем остающемся после их реализации фонде или не больший доход при меньшем остающемся после их реализации фонде, иными словами, оставлять только наборы, которым соответствуют не доминируемые по Парето точки на плоскости «доход – оставшийся после реализации фонд».

Рассмотрим случай, когда функция дохода аддитивна относительно нескольких групп номеров, внутри которых доход не аддитивен. Например,  $H(y) = y_1 + y_2 \cdot y_3$ , первая группа  $\{1\}$ , вторая –  $\{2,3\}$ . Тогда можно применять отсечение по Парето для группы компонент, внутри же группы использовать предложенный алгоритм, конечно, если выполнены соответствующие условия для функций затрат внутри данной группы. Иначе можно решать задачу полным перебором всех наборов компонент внутри группы, но только если затраты внутри этой группы зависят только от действий участников этой группы. В общем же случае нужно разбивать агентов на группы номеров, функция дохода относительно которых аддитивна, а затраты внутри группы сепарабельны относительно затрат остальных групп.

Также можно рассмотреть итерационный процесс последовательного изменения зарплаты для пары сотрудников, вместо изменения ее для всех. Он сходится, так как получающаяся последовательность доходов не убывает и ограничена сверху доходом, получаемым при решении задачи для  $m=n$ . Вопрос, при каких условиях последовательность доходов будет сходиться именно к своей точной верхней грани, остается открытым.

Рассмотрим упрощенную модель задачи (4.2.21). Пусть имеется центр и два агента различного типа. Функция дохода центра линейна:

$$H(y) = h_1 y_1 + h_2 y_2. \quad (4.2.30)$$

Загрты  $i$ -го агента  $c_i$  имеют вид:

$$c_i(y_i) = a_i y_i^2, \quad i=1, 2. \quad (4.2.31)$$

Предположим, что в организации уже реализована система стимулирования, задаваемая функцией  $w(y)=(w_1(y_1), w_2(y_2))$ .

$$w_i(y) = b_i y_i, \quad i=1, 2. \quad (4.2.32)$$

Допуская, что никаких дополнительных ограничений не вводилось, находим точку максимума  $y_i'$  целевой функции агента  $f_i(y_i, w_i)$ :

$$f_i(y_i, w_i) = w_i(y_i) - c_i(y_i) = b_i y_i - a_i y_i^2, \quad i=1, 2. \quad (4.2.33)$$

$$y_i' = \frac{b_i}{2a_i}, \quad i=1, 2. \quad (4.2.34)$$

Выигрыш агента при этом составляет

$$f_i(y_i', w_i) = \frac{b_i^2}{4a_i}, \quad i=1, 2. \quad (4.2.35)$$

Соответственно, выигрыш центра равен

$$F(y', w) = \frac{(h_1 - b_1)b_1}{2a_1} + \frac{(h_2 - b_2)b_2}{2a_2}, \quad (4.2.36)$$

при фонде оплаты

$$R' = \frac{b_1^2}{2a_1} + \frac{b_2^2}{2a_2}. \quad (4.2.37)$$

Построим новую функцию стимулирования следующим образом:

$$\sigma_i(y_i) = \begin{cases} c_i(z_i) + \frac{b_i^2}{4a_i}, & y_i = z_i, \\ 0, & y_i \neq z_i \end{cases}, \quad i=1, 2. \quad (4.2.38)$$

Здесь  $z = (z_1, z_2)$  – действие, на выполнение которого центр стимулирует агента. Естественно, что при такой системе агент выберет именно его. Найдем оптимальное значение (для центра)  $z^*$  действия  $z$ ,



получаемое из решения задачи

$$\begin{cases} H(z) - c_1(z_1) - c_2(z_2) \rightarrow \max_z \\ c_1(z_1) + c_2(z_2) \leq R' \\ z_i \geq 0, \quad i = 1, 2. \end{cases} \quad (4.2.39)$$

Если не учитывать ограничение на фонд, то оптимальным для центра действием является точка  $z^0$ .

$$z^0 = \left( \frac{h_1}{2a_1}, \frac{h_2}{2a_2} \right). \quad (4.2.40)$$

Если ограничение в этой точке выполняется, то  $z^* = z^0$ . Можно заметить, что на плоскости  $Oz_1z_2$  ограничениям задачи (4.2.39) соответствует часть плоскости, ограниченная осями координат и эллипсом с центром в нуле:

$$a_1z_1^2 + a_2z_2^2 \leq R'. \quad (4.2.41)$$

Множество точек  $z$ , доставляющих центру один и тот же выигрыш  $F$ , также определяется эллипсом (с центром в  $z^0$ ):

$$F = h_1z_1 + h_2z_2 - a_1z_1^2 - a_2z_2^2 - \frac{b_1^2}{4a_1} - \frac{b_2^2}{4a_2}. \quad (4.2.42)$$

$$a_1(z_1 - z_1^0)^2 + a_2(z_2 - z_2^0)^2 = \frac{h_1^2}{4a_1^2} + \frac{h_2^2}{4a_2^2} - \frac{b_1^2}{4a_1} - \frac{b_2^2}{4a_2} - F \quad (4.2.43)$$

Чем больше прибыль, тем меньше радиус такого эллипса. В случае, когда точка  $z^0$  не является допустимой, точка касания двух эллипсов  $z^*$  соответствует максимальному значению  $F$ , при выполнении ограничения на фонд (см. рис. 4.2.1). Эту точку можно найти, решив соответствующую систему уравнений.

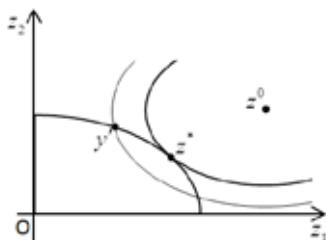


Рис. 4.2.1. Графическое представление задачи (4.2.39).

Заметим, что если центр выберет в качестве  $z$  точку  $y'$  (она является допустимой), то выигрыш центра при старой системе стимулирования будет равен выигрышу при новой, который не превышает выигрыша при выборе значения  $z = z^*$ :

$$F(y', w) = \frac{(h_1 - b_1)b_1}{2a_1} + \frac{(h_2 - b_2)b_2}{2a_2} = F(y', \sigma) \leq F(z^*, \sigma) \quad (4.2.44)$$

Таким образом, выигрыш центра с новой системой стимулирования (4.2.38) не меньше, чем со старой системой (4.2.32), выигрыши агентов и фонд заработной платы остались прежними.

Теперь рассмотрим пример задачи типа (4.2.25). Для реализации предложенного алгоритма была разработана программа, с помощью которой получены результаты тестового примера.

Рассмотрим организационную систему с 10 участниками (табл.4.2.1).

Таблица 4.2.1

#### Данные о текущей системе стимулирования

$i$	$A_i$	$\sigma_i(x)$	$c_i(x)$	$y_i$	$\sigma_i(y)$
1	0,10,...,100	5% дохода	$x^2/80$	10	11,65
2	0,1,...,8	$3x$	$x^2/2$	3	9
3	0,1,...,20	$2x, x \leq 10$ $3(x-10)+20, x > 10$	$x^2/6$	6	12
4	0,1,...,20	$2x, x \leq 10$ $3(x-10)+20, x > 10$	$x^2/6$	6	12
5	0,1,...,20	$2x, x \leq 10$ $3(x-10)+20, x > 10$	$x^2/6$	6	12
6	0;0,5;...;2	0, $x=0$ $2+x, x > 0$	$1,5x^2$	0,5	2
7	0; 0,5;...;2	0, $x=0$ $2+x, x > 0$	$1,7x^2$	0,5	2
8	0,1,...,15	0, $x=0$ $3+2x, x > 0$	$x^2/6$	6	15
9	0,1,...,8	0, $x=0$ $3+3x, 0 < x \leq 5$ $19+4(x-5), x > 5$	$4x$	1	6

10	0,1,...,8	0, x=0 4+3x, 0<x≤5 18+4(x-5), x>5	4x	1	7
Прибыль				84,35	
Фонд оплаты				88,65	

Через  $i$  обозначен номер агента,  $A_i$  – множество возможных действий,  $\sigma_i(x)$  – текущая функция стимулирования,  $c_i(x)$  – функция затрат,  $y_i$  – реализуемое действие. В качестве функции дохода взята линейная функция:

$$H(y) = y_1 + 8y_2 + 5(y_3 + y_4 + y_5) + 3(y_6 + y_7) + 4y_8 + 11(y_9 + y_{10}) \quad (4.2.45)$$

Сотрудники с номерами 3, 4, 5 имеют одинаковую должность (одинаковую систему оплаты) и одинаковые функции затрат, сотрудники 6 и 7 занимают одинаковую должность, но имеют разные функции затрат, сотрудники 9 и 10 занимают разные должности, но имеют одинаковые функции затрат. Сотрудник 1 получает 5% дохода организации.

Теперь решим задачу (4.2.25) для возможных значений параметра  $m=1,2,\dots,10$ .

Таблица 4.2.2

### Результаты решения задачи (4.2.25)

$m$	$F$	$R$	$d$
1	86	77	2
2	100	85	18,55
3	119	86	41,08
4	126,5	88	49,97
5	127,33	87,67	50,95
6	130	88,5	54,12
7	132,5	88	57,08
8	133,83	88,17	58,66
9	136,83	88,17	62,22
10	136,83	88,17	62,22

Результаты решения приведены в таблице 4.2.2. Здесь  $F$  – прибыль центра,  $R$  – фонд оплаты,  $d$  – прирост прибыли в процентах. Увели-

чение прибыли рассчитано в процентах относительно фонда оплаты, соответствующего рассмотренной ранее системе стимулирования. Все значения округлены до второго знака после запятой.

При использовании системы стимулирования (4.2.17) можно увеличить прибыль на 62,22%. Чтобы увеличить прибыль на 50%, достаточно изменить реализуемое действие для четырех человек. При  $m=1$  удалось увеличить прибыль только на 2%, что неудивительно, ведь для увеличения прибыли, как правило, нужно увеличить кому-то зарплату за выбираемое действие, отчего уменьшается фонд, поэтому необходимо уменьшить ее кому-то другому. Однако возможна ситуация, когда для одного сотрудника применяется новая функция стимулирования, обеспечивающая ему тот же выигрыш, что и старая, но более эффективная для центра. Либо сотрудник может быть просто уволен (что и наблюдалось в данном примере). При  $m=2$  и  $m=3$  происходил резкий скачок прироста прибыли, далее прирост замедлился. На графике (рис.4.2.2) видно, что  $m=3$  – точка перегиба.

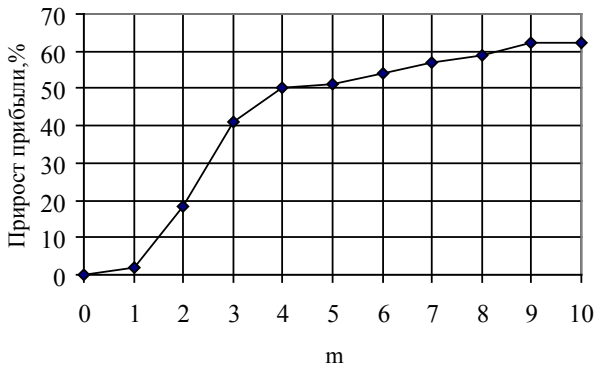


Рис.4.2.2. График зависимости прироста прибыли от  $m$

Рассмотрим отношение  $d/m$ , обозначим его через  $p(m)$  (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3

#### Зависимость $p(m)$

m	1	2	3	4	5
p	2	9,28	13,69	12,49	10,19
m	6	7	8	9	10
p	9,02	8,15	7,33	6,91	6,22

Все значения округлены до второй цифры после запятой. На рис. 4.2.3 приведен соответствующий график. Видно, что наибольший относительный прирост прибыли наблюдается при  $m=3$ . Далее увеличение максимального количества затронутых преобразованиями сотрудников на единицу ведет к меньшему приросту прибыли.

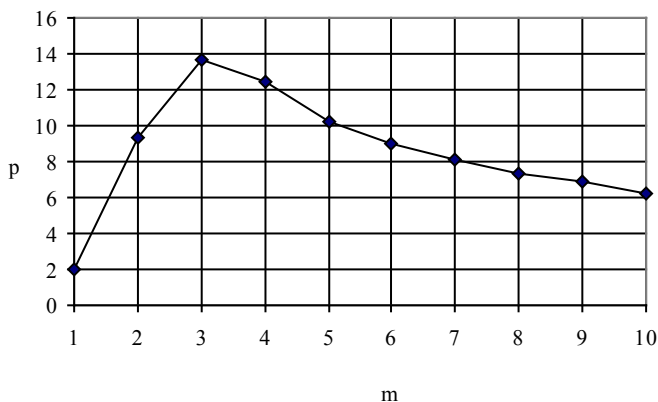


Рис.4.2.3. График зависимости  $p(m)$

Таким образом, можно поставить задачу нахождения максимума функции  $p(m)$  с целью нахождения оптимального числа сотрудников, которых следует затронуть преобразованиями.

### 4.3.Предупреждающие действия

Различие между корректирующими и предупреждающими действиями в менеджменте качества заключается в том, что первые направлены на устранение причин уже имеющихся, реальных несоответствий, в то время как вторые – на устранение причин потенциальных несоответствий, которые могут возникнуть в будущем. С этим понятием связан часто используемый в менеджменте качества термин «предвосхищение ожиданий», означающий, что будут удовлетворены не только реальные, но и потенциальные требования внешних и внутренних потребителей и никаких несоответствий даже в будущем не возникнет.

Стандарт ИСО 9001-2008 устанавливает (п.8.5.3), что организация должна определять действия для устранения причин потенциальных несоответствий, чтобы предупредить их возможное появление в бу-

душем. Предупреждающие действия должны соответствовать возможным последствиям ожидаемых проблем. Как и в случае корректирующих действий, должна быть разработана документированная процедура, определяющая требования:

- а) к установлению потенциальных несоответствий и их причин;
- б) к оцениванию необходимости действий в целях предупреждения появления несоответствий;
- в) к определению и осуществлению необходимых действий;
- г) к записям результатов предпринятых действий;
- д) к анализу результативности предпринятых предупреждающих действий.

Поскольку предупреждающие действия относятся к будущему, они должны основываться на определенных прогнозах. Поэтому, на наш взгляд, необходимым инструментом осуществления предупреждающих действий является имитационное моделирование (компьютерная имитация), обеспечивающее возможность прогноза.

Приведем классическое определение Р.Шеннона: «Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы. Таким образом, процесс имитационного моделирования мы понимаем как процесс, включающий и конструирование модели, и аналитическое применение модели для изучения некоторой проблемы» (Шеннон 1978:12). В общем виде имитационную модель можно записать следующим образом:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + (\Delta t)f_1(x(t), u(t), \xi(t)), \quad (4.3.1)$$

$$x(0) = x_0, \quad t = 0, \Delta t, \dots, T - \Delta t. \quad (4.3.2)$$

Здесь  $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$  - вектор состояния. Его компоненты (переменные состояния)  $x_i(t)$  ( $i=1, \dots, n$ ) - это значения показателей, характеризующих состояние управляемой динамической системы (УДС) в момент времени  $t$  с той точки зрения и с той степенью подробности, которые обусловлены целями и возможностями моделирования. Например, завод можно охарактеризовать одним показателем (годовой прибылью), а можно несколькими десятками показателей (основные фонды, оборотные фонды, численность работающих, производственные площади, номенклатура продукции и т.д.). В наиболее распространенном случае переменные состояния принимают числовые значения. Однако возможны и иные варианты: например, представление

сведений о работнике предприятия может осуществляться с помощью стандартной кадровой анкеты; тогда большая часть компонент вектора состояния принимает не числовые, а символьные значения (“Петров”, “Николай”, “Сергеевич”, “русский” и т.п.). Компоненты вектора состояния могут также принимать качественные значения на некоторой порядковой шкале, например, “очень слабый”, “слабый”, “умеренный”, “сильный”, “очень сильный” и т.п.;

$u(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t))$  - вектор управляющих воздействий. Поскольку вектор  $u(t)$  входит в правую часть уравнения (4.3.1), то от значений его компонент (управляющих переменных)  $u_j(t)$  ( $j=1, \dots, m$ ) зависит изменение вектора состояния  $x(t)$ . Значения управляющих переменных  $u_j(t)$  выбираются одним или несколькими ассоциированными с УДС субъектами в соответствии с определенной целью;

$\xi(t) = (\xi_1(t), \dots, \xi_p(t))$  - вектор нецеленаправленных воздействий. Для обозначения этого вектора не случайно используется греческая буква: он имеет иную природу, нежели вектор  $u(t)$  (хотя и тот, и другой соответствуют внешним по отношению к системе факторам). Переменные  $\xi_k(t)$  не контролируются субъектом управления; он может лишь регистрировать их значения и соответствующие изменения вектора состояния. Однако значения  $\xi_k(t)$  оказывают воздействие на динамику вектора состояния  $x(t)$ , поэтому говорят, что развитие динамической системы происходит в условиях неопределенности;

$f(x(t), u(t), \xi(t))$  - вектор-функция той же размерности, что и  $x(t)$ , определяющая динамику вектора состояния в условиях внешнего воздействия;

$x_0 = (x_{01}, \dots, x_{0n})$  - начальное значение вектора состояния, которое считается известным;

$T$  - период, в течение которого моделируется динамика управляемой системы;  $\Delta t$  - шаг моделирования (разница во времени между двумя последовательными состояниями системы).

Суть метода имитационного моделирования (simulation modeling), или компьютерной имитации (computer simulation) заключается в следующем. Модель (4.3.1)-(4.3.2) и компьютер используются для получения ответа на вопрос “Что будет с УДС, если ...?” Вместо многоточия в этом вопросе следует подставить, что значения управляющих переменных выбираются определенным образом при  $t=1, 2, \dots, T$ , а неконтролируемые переменные принимают определенные значе-

ния при  $t=1,2,\dots,T$ .

Хотя с формальной точки зрения эти предложения аналогичны, их содержательный смысл совершенно разный. Управляющие воздействия  $u(t)$  могут выбираться субъектом управления из допустимой области  $U(t)$  по его произвольному усмотрению: то ли для решения задачи оптимизации, то ли из каких-то других соображений. Выбором же неконтролируемых переменных  $\xi(t)$  субъект управления распоряжаться не может; про них в общем случае известно лишь, что они принадлежат области  $\Xi(t)$ . Однако после того, как значения  $u(t)$  и  $\xi(t)$  при  $t=1,2,\dots,T$  каким-то образом определены, соотношения (4.3.1) задают алгоритм перехода УДС из начального состояния  $x_0$  в некоторое конечное состояние  $x(T)$ . В имитационной модели не обязательно явно задавать функцию  $f$ : вместо этого можно указать правило перехода от  $x(t)$  к  $x(t+\Delta t)$ .

Основной причиной, обуславливающей использование модели (4.3.1)-(4.3.2) в “имитационном режиме”, является сложность УДС, ограничивающая возможности традиционных аналитических методов исследования математических моделей. Однако имитационное моделирование ни в коем случае не следует рассматривать как альтернативу математическому моделированию: компьютерная имитация развивает возможности математического моделирования и усиливает их за счет компьютера (а также человека-эксперта в диалоге с компьютером).

Выделим следующие этапы имитационного моделирования.

1. Определение целей, задач и возможностей имитации.
2. Анализ УДС и построение ее концептуальной модели.
3. Составление и структуризация имитационной модели.
4. Программная реализация имитационной модели.
5. Анализ и коррекция имитационной модели.
6. Планирование и проведение имитационных экспериментов.
7. Обработка и анализ результатов имитации.
8. Внедрение и сопровождение результатов имитации.

Дадим краткую характеристику перечисленных этапов: специальные вопросы обсуждаются более детально в (Угольницкий 1999).

*1. Цели, задачи и возможности имитации.* Одно из важнейших положений системного анализа заключается в том, что невозможно изучать сложную систему в целом, во всем многообразии ее элементов и связей между ними. Изучение всегда направлено на определенную проблему, связанную с целостной системой. Цель имитационного моделирования при осуществлении предупреждающих действий



заключается в выявлении условий, при которых в организации могут нарушиться требования гомеостаза (табл.2.2.1).

Для проведения компьютерных расчетов по модели (4.3.1)-(4.3.2) необходимо задать: начальные условия  $x_0$ ; вектор управляющих воздействий  $u(t)$ ; вектор неконтролируемых факторов  $\xi(t)$  при  $t=1,2,\dots,T-\Delta t$  (предполагается, что задача идентификации решена, т.е. вид функции  $f$  и ее числовые параметры известны). Совокупность перечисленных величин принято называть сценарием имитации. Каждому сценарию соответствует своя траектория УДС, вычисляемая по схеме (4.3.1)-(4.3.2). Поэтому основной вопрос имитационного моделирования можно переформулировать так: “Какой будет траектория УДС при заданном сценарии?” Суть нашего подхода заключается в следующем: если при некотором сценарии имитация показывает, что условия гомеостаза в будущем нарушаются, то это означает потенциальное несоответствие, а данный сценарий представляет собой его причину.

Другим фактором, обуславливающим выделение рассматриваемой проблемы из всего многообразия связанных с системой аспектов, служат возможности исследователя. К ним относятся теоретические, финансовые, временные и другие возможности. В роли исследователя может выступать владелец процесса, действующий по его поручению сотрудник организации или менеджер по качеству. Теоретические возможности обуславливают те данные и методы, которые исследователь может применить для решения проблемы, опираясь на свои профессиональные знания и опыт. Если знаний исследователя недостаточно, то приходится обращаться за консультацией к экспертам или решением руководства формировать специальную команду.

Финансовые возможности ограничивают использование оборудования, объем экспериментов и наблюдений, количество специалистов и вспомогательного персонала. Легко понять, что стесненность в материальных средствах не способствует энтузиазму исполнителей и успеху исследования, хотя иногда может приводить к неожиданным экономичным решениям. Любое исследование должно быть выполнено в определенные сроки, которые существенно влияют на масштаб постановки проблемы и глубину ее исследования.

Цели исследования можно подразделить следующим образом:

- описание функционирования системы;
- прогноз функционирования при различных воздействиях;
- поиск наилучшего варианта функционирования.

Описание функционирования системы является базовой целью любого исследования, в том числе необходимым элементом для до-

стижения целей более высокого порядка (прогноз, оптимизация). Конечно, здесь подразумевается не исчерпывающее описание УДС в целом (что для сложных систем зачастую принципиально невозможно), а описание в рамках уже сформулированной проблемы, т.е. некоторого аспекта функционирования системы. Описание позволяет представить существующее состояние системы (возможно, с учетом прошлых состояний), а также изменение состояния со временем. Описание может быть чисто формальным, например, статистическим, а может объяснять механизм функционирования системы (например, стремление к самосохранению или экспансии).

Целью прогноза функционирования является предсказание состояния системы в будущем при различных вариантах внутренних и внешних воздействий на систему. К внутренним воздействиям относятся решения по управлению системой, а к внешним - влияние окружающей систему среды. Например, для предприятия внутренними воздействиями являются решения руководства о распределении полученной прибыли, установлении штатного расписания и найме работников, закупке сырья, организации сбыта и рекламы и т.д.; внешними воздействиями выступают официальные постановления, действия поставщиков и конкурентов, политическая ситуация и др. Внутренние воздействия всегда целенаправленны, т.к. управление предполагает наличие некоторой цели, а внешние могут быть как целенаправленными (действия поставщиков или конкурентов), так и нецеленаправленными (природные явления). Таким образом, кратко цель прогноза можно еще раз сформулировать как получение ответа на вопрос "Что будет с системой, если совокупность внутренних и внешних воздействий на нее примет определенные значения?" Именно эта цель является основной при осуществлении предупреждающих действий.

Поиск наилучшего варианта функционирования прежде всего предполагает указание критерия, в смысле которого можно сказать, что один вариант лучше другого (критерия оптимальности). Как уже отмечалось, для сложных систем редко удается ограничиться единственным критерием оптимальности. Так, к числу критериев производственного предприятия относятся доход, качество выпускаемой продукции (а с ним и репутация предприятия), условия работы персонала, хорошие отношения с населением и контролирующими органами и многие другие. Иногда один из критериев можно считать основным (например, прибыль предприятия), а остальные рассматривать как ограничения. Далек не всегда можно трактовать изучаемую систему как единственный монолитный субъект, с которым связан кри-

терий оптимальности (либо набор таких критериев). В большинстве случаев сложная система содержит множество субъектов, каждый из которых имеет свои интересы и предпочтения, выражаемые различными критериями оптимальности. Так, для предприятия, помимо глобального представления об оптимальности (персонафицируемого индивидуальным или коллективным владельцем предприятия), существуют представления производственных подразделений, отдельных работников и их групп. Поэтому цель выбора оптимального варианта функционирования системы может включать учет и согласование интересов различных связанных с ней субъектов (условие компромисса).

Следует отметить, что при постановке цели прогноза также часто формулируются оценочные показатели качества функционирования системы, значения которых вычисляются для каждого сценария. В этом случае происходит как бы частичное решение задачи выбора оптимального варианта функционирования (для подмножества вариантов, ограниченного рассматриваемыми сценариями). Поэтому цель поиска наилучшего варианта функционирования может использоваться как элемент предупреждающих действий.

*2. Анализ УДС и построение ее концептуальной модели.* Формулировка проблемы исследования позволяет очертить границы объекта, выделив его тем самым из окружающей среды. Следует подчеркнуть, что такое выделение возможно именно в рамках изучаемой проблемы; для иной формулировки проблемы разделение на рассматриваемую систему и окружающую среду также будет иным. Например, можно взять в качестве изучаемой системы некоторое предприятие в целом (скажем, завод); тогда границы системы определяются территорией завода (возможно, и другими объектами, такими, как филиалы, фирменные магазины и т.п.), а в окружающую среду войдут поставщики, конкуренты, клиенты, местная администрация и т.д. Однако легко представить себе цель исследования, требующую рассмотрения не завода в целом, а некоторой его подсистемы (например, сборочного производства). Тогда сборочное производство становится изучаемой системой, а остальные производства и службы завода - внешней средой. В соответствии с принципом системной относительности любой элемент сложной системы сам может рассматриваться как система, включающая подсистемы более низких уровней и входящая в состав системы более высокого уровня (надсистемы); выделение конкретного элемента в качестве системы зависит от уровня рассмотрения. Для каждого выбранного уровня, определяемого целью и возможностя-

ми конкретного исследования, соответствующие внутрисистемные связи считаются более сильными, чем связи системы с окружающей средой. Роль взаимодействия с окружающей средой также меняется в зависимости от ситуации. В некоторых случаях систему можно считать практически замкнутой и пренебрегать ее связями с внешним миром, тогда как в других случаях эти связи имеют существенное значение. Конечно, предположение о замкнутости является более сильным, чем рассмотрение открытой системы, и приводит к более простой модели. Дальнейший анализ системы в выделенных границах должен привести к формированию списков образующих систему элементов с указанием их состава, связей между элементами, а также процессов, в которых изменяются элементы и связи между ними. Наборы элементов и связей характеризуют структуру системы, а изменение системных показателей в структурных рамках - ее функции.

Результатом системного подхода к проблеме является так называемая концептуальная модель. Как следует из названия, концептуальная модель отражает концепцию исследования и определяется его целями и возможностями. Концептуальная модель содержит:

- описание границ рассматриваемой системы;
- набор элементов системы;
- множество показателей состояния для каждого элемента;
- набор связей между элементами системы (при необходимости - с указанием интенсивностей потоков вещества и энергии);
- перечень происходящих в системе процессов;
- список внутренних и внешних воздействий на систему.

Подчеркнем еще раз, что каждый пункт концептуальной модели включает те и только те элементы, которые соответствуют целям и возможностям исследования. Концептуальная модель может быть описана различными средствами: строгих правил и ограничений здесь нет, требуется лишь максимальная ясность изложения. Повидимому, наиболее распространены вербальные (словесные) описания; широко используются различные изобразительные средства (схемы, графики, таблицы, диаграммы и т.п.), позволяющие в наглядной и сжатой форме представить требуемую информацию. Концептуальная модель может включать формализованные элементы (блок-схемы, потоковые модели, математические соотношения и т.п.), что облегчает последующий этап формализации. Для очень сложных объектов исследования концептуальная модель может строиться в виде многоуровневой системы, верхний уровень которой дает общее представление об объекте, а последующие уровни уточняют и детализируют это представление в различных аспектах.

3. *Составление и структуризация имитационной модели.* Следующим этапом имитационного моделирования является формализация полученной концептуальной модели, ведущая к построению формальной модели. Будем понимать под формальной такую модель, с элементами которой можно выполнять преобразования по определенным формальным правилам. Общий вид формальной имитационной модели дается соотношениями (4.3.1)-(4.3.2).

Исходным пунктом формализации является задание вектора состояния модели, компоненты которого - это характеристики УДС, выделенные при построении концептуальной модели как базовые, несущие необходимую и достаточную информацию для решения поставленной проблемы.

В зависимости от цели моделирования вводится так называемое системное время, моделирующее ход времени в реальной УДС. Различают два типа шкал модельного (системного) времени: равномерную и событийную шкалы. Для первого типа характерно введение некоторого постоянного шага  $\Delta t$  изменения времени. В этом случае вектор состояния модели рассматривается в моменты  $t + k\Delta t$ , где  $k$  - натуральное число. Именно так устроена модель (4.3.1)-(4.3.2). Можно сказать, что в этом случае каждому моменту реального времени  $t_1^p$  ставится в соответствие момент модельного времени  $t_1^m$ , причем  $t_1^m - t_2^m = A(t_1^p - t_2^p)$ , где  $A$  - масштабирующий коэффициент. Если моделируемый объект изменяется лишь при наступлении некоторого события, а в остальные моменты времени остается без изменений, то пользоваться равномерной шкалой нерационально, поскольку вектор состояния на отрезке времени между двумя событиями остается постоянным. В этом случае отсчет времени в модели лучше вести "по событиям", т.е. каждый последующий момент времени в модели наступает только тогда, когда в ней моделируется наступление некоторого события.

В практике имитационного моделирования существуют типичные случаи, для которых удобный способ моделирования реального времени ясен. Например, для систем массового обслуживания традиционен событийный подход, тогда как в экологических системах изменение времени считается равномерным. Величина временного шага определяется целями и возможностями исследования.

После, а иногда и параллельно с заданием вектора состояния системы и выбором временного шага производится декомпозиция модели и выявление ее блочной конструкции. С этой целью множество переменных модели делится на непересекающиеся подмножества, в каждое из которых входит группа "однородных" переменных. Чаще

всего в один блок включаются переменные, описывающие отдельный процесс, какую-либо подсистему или элемент исходного объекта, группу факторов, имеющих одну и ту же природу (например, маркетинговые факторы). В результате декомпозиции модель представляется в виде комплекса взаимосвязанных показателей - блоков, которые взаимодействуют по определенным правилам и в итоге позволяют провести имитационное исследование УДС.

Блочный принцип построения модели имеет целый ряд преимуществ, особенно ощутимых при создании сложных имитационных моделей. Прежде всего, если модель требует значительного объема памяти и машинного времени, то возможности использования такой модели для имитационного эксперимента оказываются весьма ограниченными. Хорошим выходом в этом случае оказывается декомпозиция модели с тем, чтобы программы, реализующие отдельные блоки, работали последовательно и обменивались информацией по тем или иным правилам. Однако блочная структура имитационных моделей обуславливается не только возможностями вычислительной техники. Создание моделей требует регулярных контактов разработчика со специалистами-экспертами в соответствующих предметных областях. Блочная структура позволяет полнее использовать знания владельцев и участников различных процессов, не затрудняя взаимопонимания частными проблемами, не имеющими отношения к данному блоку. Кроме того, именно блочный принцип дает возможность при построении имитационной модели устанавливать необходимые пропорции между подробностью моделирования и обеспеченностью информацией. Дело в том, что при исследовании УДС часто отдельные аспекты оказываются менее изученными по сравнению с остальными. Им соответствует меньшее количество информации, худшее качество данных и т.п. В этом случае не имеет смысла особенно скрупулезно разрабатывать «благополучный» блок, т.е. тот, для которого имеются обширные и точные знания; ведь при работе имитационной модели в целом точность и подробность результатов работы такого блока нейтрализуется грубостью расчетов в «неблагополучном» блоке. Поэтому всегда следует соблюдать принцип «равноточности» блоков в имитационной модели.

Поскольку блоки описывают различные подсистемы, процессы, факторы, то системное время для каждого из них может быть различным. Оно определяется внутренними потребностями блока. Если в блоке описываются «быстрые» изменения, то время исчисляется секундами, часами, сутками (технологические процессы); если же изменение УДС во времени происходит достаточно медленно (реали-

зация инвестиционных проектов), то время исчисляется месяцами, годами и даже десятилетиями. Однако необходимо позаботиться о том, чтобы в итоге все результаты по отдельным блокам были сведены к единому системному времени, принятому для модели в целом.

После завершения декомпозиции модели следует приступить к разработке отдельных блоков. Для каждого из них:

- уточняются и конкретизируются те гипотезы, которые непосредственно относятся к процессам, аспектам, элементам, формирующим данный блок;

- определяется соответствующее подмножество входных и выходных данных, причем эти данные могут принадлежать как множествам «входов» и «выходов» общей модели, так и множествам локальных входных и выходных данных других блоков;

- формируется множество параметров;

- формализуются основные законы взаимодействия элементов блока.

При этом происходит переход от качественных зависимостей концептуальной модели к точным количественным зависимостям и логическим схемам взаимодействия элементов внутри каждого блока. Отметим, что в практике имитации далеко не всегда удается отразить все связи концептуальной модели в виде аналитических функций. Часто приходится вводить эмпирические зависимости, полученные на основе данных натурных наблюдений, в результате обобщения опыта моделирования подобных объектов и т.п. Неоценимую роль на этапе формализации играет экспертная оценка полученных эмпирических зависимостей и параметров.

*4. Программная реализация имитационной модели.* Проведение компьютерных имитационных экспериментов с моделью требует, чтобы построенная формальная модель была представлена в виде компьютерной программы. Программа реализует соответствующий алгоритм исследования: численное решение системы алгебраических или дифференциальных уравнений, задачи оптимизации, перевод системы из начального состояния в конечное и т.п. Программная реализация модели подразумевает решение следующих проблем:

- выбор аппаратных средств;

- выбор программного обеспечения;

- выбор технологии программирования.

Выбор аппаратных средств на практике ограничен в основном наличными возможностями проводящей исследование организации или отдельного исследователя. Существуют задачи, решение которых

возможно лишь с использованием мощных суперкомпьютеров, однако очень большое число задач, в т.ч. и связанных со сложными объектами, могут быть решены с помощью миникомпьютеров или даже персональных компьютеров (особенно рабочих станций). Конечно, приятнее иметь в своем распоряжении более мощный компьютер, и это позволяет решать более широкие классы задач, но иногда ограниченность аппаратных возможностей может оказать благотворное влияние, побуждая глубже вникнуть в задачу и найти более тонкий алгоритм. В этом смысле ограниченность аппаратных средств можно рассматривать как дополнительное условие задачи.

В состав программного обеспечения входят операционные системы, языки программирования, системы управления базами данных, пакеты прикладных программ и другие инструментальные средства. Выбор инструментального средства в большей мере определяется вкусами и возможностями исследователя, нежели целью исследования, поскольку одна и та же цель может быть достигнута использованием различных инструментальных средств. С точки зрения моделирования систем языки программирования можно подразделить на две большие группы: универсальные и специализированные. Универсальные языки программирования (Ада, С, С++, Паскаль, Форт и т.д.) предназначены для реализации произвольных алгоритмов, в то время как специализированные языки (GPSS, Simula, SLAM и др.) ориентированы на исследование определенных классов систем (систем массового обслуживания, управления процессами, динамических систем и т.д.). Отсюда видны преимущества и недостатки обеих групп языков: универсальные языки позволяют написать любую программу, но для некоторых классов задач более эффективны специализированные языки. Выбор специализированного языка моделирования связан с большим числом технических трудностей (необходимость наличия транслятора с этого языка, знания языка программистами и т.п.), поэтому он может быть рекомендован в случаях, когда предполагается исследовать только один четко определенный класс задач и высоки требования к эффективности; в остальных случаях, видимо, целесообразнее использовать универсальный язык.

Большую пользу могут принести пакеты прикладных программ, предлагающие готовые решения распространенных классов задач (решения систем уравнений и оптимизационных задач различного вида разными численными методами, графического вывода, обработки данных при вводе и т.д.). Правда, бывают ситуации, в которых проще написать программу самому, чем применить существующий пакет, но для сложных систем они все же скорее являются исключе-



нием.

В прошлом веке наиболее распространенной и апробированной была структурная технология программирования в ее различных модификациях. Основными принципами структурной технологии являются нисходящее проектирование, пошаговая детализация и сквозной структурный контроль программ. Одной из особенностей структурной технологии выступает модульное (блочное) построение программы, важность которого подчеркивалась выше. В последнее время на первый план вышла технология объектно-ориентированного программирования. Разрабатываются специальные объектно-ориентированные языки программирования (C++, Object Pascal, CLOS и др.). Объектно-ориентированная технология также поддерживает модульный принцип построения программы. Уверенное владение технологией и последовательное ее применение позволяет существенно упростить и как бы “автоматизировать” решение многих важных технических проблем программирования (тестирование и отладка программ, составление спецификаций, сопровождение и т.д.).

5. *Анализ и коррекция имитационной модели.* Прежде чем использовать построенную имитационную модель, необходимо решить следующие задачи:

- выбрать значения структурных и числовых параметров модели (идентификация);
- убедиться в том, что при этих значениях параметров модель хорошо соответствует моделируемой УДС, адекватно ее описывает (верификация, проверка адекватности).

Чтобы получить с помощью имитационной модели конкретные числовые значения переменных состояния УДС, нужно знать вид всех участвующих в модели функций и числовые значения параметров. Задача определения значений параметров модели называется задачей идентификации: целесообразно различать идентификацию в широком и узком смыслах. В задаче идентификации в широком смысле речь идет об определении вида функций, фигурирующих в модели (формально можно говорить об определении значений «структурных» параметров). Практически, как правило, нужно выбрать класс функций из множества известных классов, апробированных при описании соответствующих классов реальных систем.

Функции указанных классов содержат параметры, для определения значений которых нужно решить задачу идентификации в узком смысле.

Одним из наиболее распространенных методов решения этой за-

дачи является метод наименьших квадратов, суть которого заключается в следующем. Пусть на этапе структурной идентификации модели в качестве связи между переменными  $x$  и  $y$  выбрана функция  $y = f(x, a)$ , зависящая от набора параметров  $a$ . Предполагается, что система доступна для наблюдения, т.е. можно задавать значения входной переменной  $x(t)$  и измерять соответствующие значения выходной переменной  $y(t)$  в моменты времени  $t = t_1, \dots, t_N$ , причем число наблюдений  $N$  велико. Разобьем промежутки  $[t_1, t_N]$  на две части:  $[t_1, t_m]$  - обучающую и  $[t_{m+1}, t_N]$  - экзаменующую. Составим выражение

$$S(a) = \sum_{t=t_1}^{t_m} [y(t) - f(x(t), a)]^2, \quad (4.3.3)$$

в котором первое слагаемое в квадратных скобках представляет собой реальное значение переменной  $y$  в  $t$ -м наблюдении, а второе - его значение, полученное расчетом по модели с набором параметров  $a$ . Тогда понятно, что набор параметров  $a^*$ , минимизирующий выражение (4.3.3), решает задачу идентификации в узком смысле, поскольку для этого набора сумма квадратов отклонений модельных значений  $y$  от реальных является наименьшей.

Задача идентификации в узком смысле, т.е. нахождение числовых значений параметров функций (как правило, по статистическим данным) широко распространена и лучше известна, поэтому часто, говоря “задача идентификации”, понимают именно идентификацию в узком смысле, молчаливо предполагая, что структура модели уже определена. Однако для имитационного моделирования большое значение имеет как раз идентификация в широком смысле (структурная идентификация). Часто в процессе исследования становится ясно, что между некоторыми переменными модели существует зависимость вида  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ , и известно “направление” этой зависимости (например, при увеличении  $x_1$  значение  $y$  растет, а при увеличении  $x_2$  - уменьшается), а иногда и определенные количественные оценки (например, при 100-кратном увеличении  $x_3$  значение  $y$  увеличивается в 3 раза). Такого рода оценки возникают на этапе анализа и построения концептуальной модели УДС; для построения формальной модели полученные качественные зависимости необходимо параметризовать, т.е. прежде всего решить задачу структурной идентификации. В отличие от задачи идентификации в узком смысле, формальные методы типа метода наименьших квадратов здесь отсутствуют, и приходится довольствоваться основанным на опыте и интуиции исследователя и экспертных оценках качественным подходом.

Возьмемся к задаче идентификации в узком смысле. Используя

найденный оптимальный набор параметров  $a^*$ , получим выходные характеристики в виде  $y^*(t) = f(x(t), a^*)$ ,  $t=t_1, \dots, t_m$ . Задача верификации прежде всего состоит в том, чтобы проверить, что на экзаменуемом промежутке времени  $[t_{m+1}, t_N]$  расчетная траектория  $y^*(t)$  близка к фактической. Сравнение этих двух траекторий позволит вынести суждение об адекватности модели. Существуют специальные методы оценки близости траекторий, например, вычисление коэффициента несовпадения Тейла

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (y(t) - y^*(t))^2}}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (y(t))^2 + \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (y^*(t))^2}} \quad (0 \leq U \leq 1).$$

Чем ближе  $U$  к нулю, тем ближе модельная траектория к фактической. В случае, когда значение  $U$  равно единице, модель заведомо не является адекватной и требует либо перестройки структуры, замены или уточнения гипотез, либо идентификации по более полным и достоверным данным. Однако близость модельной и расчетной траекторий еще не гарантирует того, что модель адекватна реальному объекту. Естественно потребовать выполнения следующих дополнительных условий:

- компьютерная реализация соответствует формальной модели;
- динамика модели соответствует динамике реального объекта;
- результаты моделирования правильно интерпретируются.

Под соответствием компьютерной и формальной моделей понимается, во-первых, идентичность их алгоритмических структур (сохраняется ли логика построения модели при машинной реализации) и, во-вторых, совпадение областей варьирования компонент вектора состояния формальной и компьютерной моделей. Второе требование означает, что численные методы, используемые для программной реализации модели, не должны давать такую погрешность, которая выводит некоторую компоненту из области допустимых значений. Например, если шаг интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений с положительно определенными переменными выбран слишком большим, то можно получить отрицательные значения этих переменных, противоречащие их содержательному смыслу.

Соответствие имитируемой и реальной динамики частично проверяется уже на стадии верификации модели. Известно, что прак-

тически любую имитационную модель путем подбора параметров можно довести до нужной степени совпадения модельной и фактической траекторий, тем не менее, такая модель не обязательно будет адекватной. Поэтому для оценки адекватности модели необходимо качественно исследовать ее динамические свойства путем проведения серии тестовых расчетов. Можно выделить два основных типа тестов. К первому относятся тесты, в которых задаются правдоподобные значения внешних воздействий (управляющих и неконтролируемых). Если в этом случае расчеты по модели не противоречат известным законам поведения реального объекта, то это говорит в пользу адекватности модели. Второй тип тестов основан на использовании критических (экстремальных, чрезвычайных) ситуаций, т.е. данных, которые не типичны для исследуемой УДС, но могут иметь место. Эти тесты особенно важны для сложных моделей, предназначенных для долгосрочного прогнозирования, поскольку чем лучше модель описывает поведение объекта в критических условиях, тем более можно быть уверенным в правильности расчетов для нормальных условий.

Адекватность модели характеризуется также ее чувствительностью по отношению к изменениям параметров и начальных значений вектора состояния. Если результаты исследований с помощью модели существенно изменяются при малых возмущениях параметров и начальных данных, т.е. модель не является устойчивой, то такую модель нельзя считать адекватной (поскольку реально существующие системы устойчивы). Требование устойчивости тем важнее, чем менее точно могут быть определены параметры модели. Анализируя адекватность модели, следует помнить о цели исследования. Конкретная модель может вполне отвечать одной цели исследования и быть совершенно непригодной для решения других задач. Поэтому важен вопрос об области применимости модели: модель пригодна тогда и только тогда, когда она дает возможность реализовать цели исследования.

Основными методами оценки адекватности и пригодности модели являются неформальные методы (экспертное оценивание, соблюдение принципа “здорового смысла” и т.п.). Однако в некоторых случаях эту процедуру удается формализовать. В частности, весьма полезными оказываются различные статистические методы, спектральный анализ и т.д.

Подчеркнем, что процесс имитационного моделирования носит итеративный характер. Ситуация, в которой построенная имитационная модель с первого раза удовлетворяет всем требованиям и по-

зволяет сразу решить поставленные перед ней задачи, является исключительной и при решении практических задач практически не встречается. Обычным делом следует считать неоднократные модификации и корректировки модели, лишь “в пределе” приводящие к успеху.

*6. Планирование и проведение имитационных экспериментов.* По сути дела, в имитационном моделировании компьютер играет роль экспериментальной установки, выдающей в ответ на заданные значения управляющих переменных, неконтролируемых факторов и начальных условий траекторию УДС. Поскольку число возможных сочетаний внешних воздействий на УДС даже для конечных множеств  $U$  и  $\Xi$  огромно и зачастую просто необозримо, то становится ясной роль планирования имитационных экспериментов. Оно осуществляется на базе общей теории планирования эксперимента с учетом специфики компьютерной имитации (Угольницкий 1999).

*7. Обработка и анализ результатов имитации.* Как правило, непосредственно получаемые результаты имитации еще не пригодны для решения поставленных задач. Их следует систематизировать, представить в более удобном для последующего анализа виде, предъявить руководству и вместе с ним проанализировать. На этой стадии вполне возможно получение отрицательных в смысле адекватности модели результатов, требующее коррекции модели и возврата к более ранним этапам. К статистическим методам обработки результатов моделирования относятся:

- фиксация и накопление статистики моделирования;
- определение доверительных интервалов для выходных величин модели;
- выявление функциональной связи между переменными с помощью регрессионного анализа;
- идентификация закона распределения по гистограмме.

Анализ результатов моделирования включает:

- оценку точности имитационного эксперимента;
- уменьшение числа параметров модели;
- определение интервалов изменения параметров;
- определение источников ошибок;
- исключение резко отклоняющихся значений;
- выбор системы координат для представления результатов;
- анализ функции отклика и др. (Клейнен 1978).

8. *Внедрение и сопровождение результатов имитации.* Возвращаясь к требованиям стандарта ИСО 9001-2008, напомним, что имитационное моделирование рассматривается нами как инструмент осуществления предупреждающих действий. Поэтому вопросы внедрения и сопровождения результатов имитации должны регламентироваться соответствующей документированной процедурой (п.8.5.3). Эта процедура определяет место и роль имитационных моделей в корпоративной информационно-моделирующей системе (см. главу 7 настоящей работы).

## ГЛАВА 5. ПРЕОДОЛЕНИЕ ОППОРТУНИСТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

В современной экономической науке под оппортунизмом понимают стремление агентов к удовлетворению собственных частных интересов за счет общественных. Основные математические модели оппортунизма изучаются теорией контрактов. Важной и опасной разновидностью оппортунистического поведения является коррупция, математические модели которой также активно исследуются в последние десятилетия.

В настоящей книге излагаются авторские модели коррупции, основанные на базовой модели иерархического управления устойчивым развитием. Основные новшества здесь заключаются в рассмотрении трех видов и двух типов коррупции. При  $q$ -коррупции предметом взятки является множество допустимых стратегий, при  $r$ -коррупции – воздействия на функцию выигрыша, при  $a$ -коррупции – требования гомеостаза. При попустительстве взяточник предоставляет взяткодателю нормативные значения ресурсов бесплатно, а более выгодные – за дополнительные деньги (взятку). При вымогательстве взяточник требует деньги уже за нормативные значения ресурсов, а при отказе давать взятку ставит зависимого субъекта в менее выгодные условия, чем обеспеченные по закону.

Большое значение в контексте оппортунизма играет проблема согласования частных и общественных интересов. Ярким примером математической формализации этой проблемы служит модель Гермейера-Вателя, описывающая ситуацию типа «путешественники в одной лодке». Представляется целесообразным рассмотреть в качестве обобщения модели Гермейера-Вателя так называемую игру с частично совпадающими интересами, примеры которой в статической и динамической постановке рассматриваются в работе.

Принципиальным направлением борьбы с оппортунистическим поведением, способным в пределе вовсе устранить его из деятельности сотрудников организаций, является настоятельно рекомендуемая философией менеджмента У.Э.Деминга переход к сотрудничеству на основе убеждения. В этом случае в выигрыше остаются все участники взаимодействия, и почва для манипуляций и оппортунизма исчезает. Однако это идеальный результат, на пути к которому приходится использовать паллиативные меры на базе принуждения и побуждения.

### 5.1. Модели коррупции в организационном управлении

В современной экономической науке под оппортунизмом понимают «следование своим интересам, в том числе обманом путем, включая такие формы обмана, как ложь, воровство, мошенничество, но едва ли ограничиваясь ими. Намного чаще оппортунизм подразумевает более тонкие формы обмана, которые могут принимать активную и пассивную форму, проявляться *ex ante* и *ex post*» (Уильямсон 1993).

Математическая формализация оппортунистического поведения является предметом теории контрактов (Bolton and Dewatripont 2004; Laffont and Martimort 2002; Salanie 1997). Основной моделью теории контрактов служит система «принципал-агент», в которой агент реализует различные формы оппортунистического поведения.

Институциональная экономическая теория трактует оппортунизм как естественное явление, в том числе в организационном управлении. Вместе с тем правильный менеджмент, удовлетворяющий принципам У.Э.Деминга, в значительной степени устраняет причины оппортунистического поведения, а в пределе может и вовсе устранить его из корпоративной практики. Не случайно один из разделов книги Г.Нива (2007), комментатора учения Деминга, называется «Новый климат». В этом новом климате, основанном на сотрудничестве и убеждении, не остается места для обмана и манипуляций, а сотрудники и руководители образуют единую команду, совместно и эффективно реализующую общие для всех цели и задачи.

Ключевыми идеями Деминга здесь являются «радость от работы» и «сотрудничество». Приведем несколько цитат по поводу первого тезиса: «цель менеджмента, его функция – дать возможность каждому получать удовольствие от его работы», «задача менеджмента – создание среды, где каждый сможет получать удовольствие от своей работы», «первейшее условие достижения любой цели, включая качество, - радость от работы» (Нив 2007: 183-186). Создание условий, при которых работа доставляет радость – высшая форма трудовой мотивации, отменяющая необходимость постоянного контроля и аттестации персонала. К сожалению, данная в 1980-е годы Демингом оценка числа людей, получающих удовольствие от работы, не превышает 2% менеджеров и 10% рядовых сотрудников, да и она кажется чересчур оптимистичной.

«Становым хребтом» управленческой философии Деминга является сотрудничество, при котором выигрывают все участники взаимодействия. Сам Деминг определяет цель своей книги «Выход из



кризиса» как качественное всеохватывающее преобразование менеджмента по направлению от конкуренции к сотрудничеству. В этом случае система процессов в организации функционирует наиболее эффективно, поскольку внутренние поставщики осознанно и добровольно создают наилучшие условия для работы своих внутренних потребителей вдоль всей цепочки процессов, итогом чего служит оптимальный продукт на выходе организации в целом. Философия Деминга подразумевает распространение отношений сотрудничества и на внешнюю среду организации, то есть ее отношения с партнерами, включая поставщиков и клиентов.

Традиционно считается, что конкуренция вносит позитивный вклад в стимулирование активности сотрудников внутри организаций и в защиту интересов потребителей за счет преодоления монополии. Однако Деминг доказывает, что сотрудничество способно решать те же задачи на значительно более высоком уровне, избегая множества ненужных материальных и нервных затрат. В результате сотрудничества не все выигрывают одинаково, но все же выигрыш каждого оказывается больше, чем в условиях конкуренции, где по определению выиграть можно только за счет других. Квинтэссенция этих рассуждений содержится в следующей цитате из одного из докладов Деминга: «В результате преобразования мы должны получить новую систему вознаграждения. Ее целью должно быть высвобождение мощи человеческих ресурсов, содержащихся во внутренней мотивации. Вместо соревнований за высший ранг, за высокий разряд, за то, чтобы быть номером один, мы будем использовать сотрудничество между людьми, отделениями, компаниями, странами. Со временем результатом сотрудничества станет большее число инноваций, развитие фундаментальной и прикладной науки и техники, расширение рынков, лучшее качество услуг, более высокое материальное вознаграждение для всех. Появится радость от работы, радость от обучения, а с каждым, кто получает радость от своей работы, тоже приятно работать. Все выигрывают, проигравших не будет» (Нив 2007:202-203).

Таким образом, оппортунизм есть неизбежное следствие плохого менеджмента. Если управление представляет собой убеждение, то есть добровольное согласие всех действующих субъектов по поводу целей и средств деятельности, если достигнут устраивающий всех стейкхолдеров компромисс, то на место оппортунизму приходит сотрудничество. Однако полная реализация идей сотрудничества на основе убеждения достижима лишь в пределе, как и полное удовлетворение условий гомеостаза организации. Поэтому, стремясь к этим идеалам, пока все же необходимо исследовать существующий оппор-

тунизм и искать средства его преодоления с помощью менее эффективных методов принуждения и побуждения.

Одной из наиболее важных и опасных разновидностей оппортунизма является коррупция. Предлагаемая нами базовая модель иерархического управления эколого-экономической системой с учетом коррупции имеет следующий вид (Рыбасов и Угольницкий 2004):

$$J_v = \sum_{t=1}^T [g_v^t(p^t, q^t, u^t, \beta^t) - M\rho(u^t, U_v^t)] \rightarrow \max$$

$$p^t \in P^t, q^t \in Q^t;$$

$$J_u = \sum_{t=1}^T [g_u^t(p^t, u^t, \beta^t) - M\rho(u^t, U_u^t)] \rightarrow \max$$

$$u^t \in U^t(q^t), \beta^t \in B^t.$$

Здесь  $\beta^t = (\beta_1^t, \dots, \beta_n^t) \in R_+^n$  - набор дополнительных управляющих воздействий Ведомого, который можно интерпретировать как взятку, предлагаемую Ведомым Ведущему с целью получения некоторых льгот;

$B^t \subset R_+^n$ ,  $t=1, \dots, T$  - множества допустимых управлений Ведомого, направленных на предоставление взятки Ведущему. Остальные обозначения приведены в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1

**Обозначения в базовой модели иерархического управления устойчивым развитием**

Обозначение	Математическое определение	Эколого-экономическая интерпретация
$x^t$	$(x_1^t, \dots, x_k^t) \in R_+^k$	Набор экологических и экономических показателей состояния иерархически управляемой системы в году $t$
$u^t$	$(u_1^t, \dots, u_n^t) \in R_+^n$	Набор управляющих воздействий Ведомого (природопользователя) в году $t$ : добыча природных ресурсов, производство товаров, выброс загрязняющих веществ (отходов)

$p^t$	$(p_1^t, \dots, p_m^t) \in R_+^m$	Набор управляющих воздействий Ведущего (контролирующего органа) на целевую функцию Ведомого в году $t$ : налоги, штрафы
$q^t$	$(q_1^t, \dots, q_n^t) \in R_+^n$	Набор управляющих воздействий Ведущего на множество допустимых управлений Ведомого: квоты, лимиты, нормативы
$f$	$f: R_+^k \times R_+^n \rightarrow R_+^k$	Правило изменения состояния эколого-экономической системы с учетом воздействия Ведомого
$x_0$	$(x_{01}, \dots, x_{0k}) \in R_+^k$	Известное начальное состояние эколого-экономической системы
$T$	$0 < T \leq \infty$	Период иерархического воздействия на систему
$P^t, Q^t$	$P^t \subset R_+^m; Q^t \subset R_+^n;$ компактные множества при $t=1, \dots, T$	Множества допустимых управлений Ведущего, в общем случае меняющиеся со временем
$U^t(q^t)$	$U^t(q^t) \subset R_+^n$ – компактное множество при $t=1, \dots, T$	Множество допустимых управлений Ведомого, зависящее от воздействия Ведущего на данном шаге
$g_v^t$	$g_v^t: R_+^m \times R_+^n \times R_+^k \rightarrow R$ – непрерывная числовая функция	Величина дохода Ведущего на шаге $t$
$g_u^t$	$g_u^t: R_+^n \times R_+^m \times R_+^k \rightarrow R$ – непрерывная числовая функция	Величина дохода Ведомого на шаге $t$
$\rho$	$\rho(x^t, X) \begin{cases} =0, x^t \in X, \\ >0, x^t \notin X \end{cases}$	Индикаторная функция, равная нулю, если на шаге $t$ состояние эколого-экономической системы принадлежит заданному множеству $X$ , и положительная в противном случае
$M_v$	$M_v > \max_{p^t, q^t, u^t} g_v$	Штрафная константа Ведущего
$M_u$	$M_u > \max_{p^t, u^t} g_u$	Штрафная константа Ведомого

$J_v, J_u$	$J_v \in R; J_u \in R$	Величины дохода Ведущего и Ведомого за период $T$ соответственно
$X_v^t, X_u^t$	$X_v^t \subseteq R_+^k, X_u^t \subseteq R_+^k$ $t=1, \dots, T$	Области фазового пространства, принадлежности которым вектора состояния иерархически управляемой эколого-экономической системы является целью Ведущего (Ведомого) на шаге $t$ соответственно

Проведем классификацию видов коррупции в зависимости от вида льгот, предоставляемых Ведущим Ведомому за взятку. Выделим три вида коррупции:

1. *p-коррупция*. В этом случае Ведущий за взятку предоставляет Ведомому экономические (например, налоговые) льготы, т.е.

$$p^t = p(\beta_p^t).$$

В простейшем случае зависимость налоговой ставки от взятки можно представить как линейную функцию  $p^t = p_0 - \gamma\beta_p^t, \gamma > 0$ .

2. *q-коррупция*. Для этого вида коррупции определяющей является зависимость квоты, накладываемой Ведущим, от взятки, т.е.

$$q^t = q(\beta_q^t).$$

Аналогично *p-коррупции* простейшим видом функции  $q^t(\beta_q^t)$  является линейная зависимость  $q^t = q_0 - \delta\beta_q^t, \delta > 0$ .

3. *a-коррупция*. В этом случае за взятку Ведущий расширяет множество стратегий, соответствующих условию гомеостаза, т.е.

$$U_v^t = U_v^t(\beta_a^t).$$

Фактически, при *a-коррупции* Ведущий пренебрегает условием гомеостаза, искусственно расширяя множество  $U_v$  и предоставляя этим Ведомому большую свободу действий. Из всех выделенных видов *a-коррупция* наиболее опасна, так как пренебрежение условиями гомеостаза приводит к критическим последствиям для эколого-экономической системы.

Рассмотрим различные варианты введения в модель иерархического управления устойчивым развитием эколого-экономических си-

стем фактора коррупции:

1. Взятка оказывает влияние на налоговую ставку (*p-коррупция*):

$$J_v = \sum_{t=1}^T [c^t p^t (1 - \beta_p^t) u^t + c^t \beta_p^t u^t - g_2(p^t, q^t) - M\rho(u^t, U_v^t)] \rightarrow \max$$

$$J_u = \sum_{t=1}^T [c^t (1 - p^t) (1 - \beta_p^t) u^t] \rightarrow \max;$$

$$\text{где } p^t_{\beta} = p^t - \gamma \beta_p^t + d^t, \gamma > 0;$$

$$0 \leq p^t_{\beta} \leq 1; 0 \leq q^t \leq 1;$$

$$0 \leq \beta_p^t \leq 1;$$

$$0 \leq u^t \leq 1 - q^t;$$

$$U_v^t = [0, a^t], 0 \leq a^t \leq 1, t = 1, \dots, T.$$

Таким образом, доля взятки  $\beta_p^t$  позволяет Ведомому получить налоговые льготы. Параметр  $d^t$  характеризует так называемую степень «жесткости» коррупции. Для определенности будем считать, что значение  $d^t = 0$  соответствует «мягкой» коррупции (попустительству), а значение  $d^t = \gamma$  - «жесткой» коррупции (вымогательству). При попустительстве взятчик предоставляет взяткодателю нормативные значения ресурсов бесплатно, а более выгодные – за дополнительные деньги (взятку). При вымогательстве взятчик требует деньги уже за нормативные значения ресурсов, а при отказе давать взятку ставит зависимого субъекта в менее выгодные условия, чем обеспеченные по закону. Аналогично устроены попустительство и вымогательство и при остальных видах коррупции.

2. Взятка влияет на квоту, накладываемую Ведущим (*q-коррупция*):

$$J_v = \sum_{t=1}^T [c^t p^t (1 - \beta_q^t) u^t + c^t \beta_q^t u^t - g_2(p^t, q^t) - M\rho(u^t, U_v^t)] \rightarrow \max$$

$$J_u = \sum_{t=1}^T [c^t (1 - p^t) (1 - \beta_q^t) u^t] \rightarrow \max;$$

$$0 \leq p^t \leq 1; 0 \leq q^t_{\beta} \leq 1;$$

$$\text{где } q^t_{\beta} = q^t - \delta \beta_q^t + d^t, \delta > 0,$$

$$0 \leq \beta_q^t \leq 1$$

$$0 \leq u^t \leq 1 - q^t; \\ U_v^t = [0, a^t], 0 \leq a^t \leq 1, t = 1, \dots, T.$$

Здесь в обмен на взятку Ведомый получает возможность использовать большее количество ресурса из-за увеличения квоты. Аналогично р-коррупции значение параметра  $d^t = 0$  соответствует «мягкой» коррупции, а значение  $d^t = \delta$  - «жесткой» коррупции.

3. Взятка ослабляет требования гомеостаза (*а-коррупция*):

$$J_v = \sum_{t=1}^T [c^t p^t (1 - \beta_\alpha^t) u^t + c^t \beta_\alpha^t u^t - g_2(p^t, q^t) - M\rho(u^t, U_v^t(\alpha^t))] \rightarrow \max \\ J_u = \sum_{t=1}^T [c^t (1 - p^t) (1 - \beta_\alpha^t) u^t] \rightarrow \max;$$

$$0 \leq p^t \leq 1; 0 \leq q^t \leq 1;$$

$$\text{где } \alpha^t = \lambda \beta_\alpha^t + d^t, \lambda > 0$$

$$0 \leq \beta_\alpha^t \leq 1$$

$$0 \leq u^t \leq 1 - q^t;$$

$$U_v^t = [0, a^t + \alpha^t], 0 \leq a^t + \alpha^t \leq 1, t = 1, \dots, T$$

В этом случае Ведомый получает возможность увеличить объем использования ресурса за счет расширения области стратегий, удовлетворяющих ослабленным требованиям гомеостаза. Аналогично р- и q-коррупции определим, что при значении  $d^t = 0$  имеет место «мягкая» коррупция, а при  $d^t = a^t$  - «жесткая» коррупция.

Сравнительный анализ модели для различных случаев коррупции с использованием методов принуждения, побуждения и убеждения проведен в статье (Рыбасов и Угольницкий 2004). Очевидно, что наличие коррупции во всех случаях является выгодным для Ведущего. Кроме того, «жесткая» коррупция всегда выгоднее Ведущему, чем «мягкая», и, наоборот, менее выгодна Ведомому. При принуждении «жесткая» а-коррупция выгоднее для Ведущего, чем «жесткая» q-коррупция при условии  $p > 2a - 1$ . Это условие является тождественно верным при  $a < \frac{1}{2}$ . Таким образом, при жестких условиях гомеостаза а-коррупция является более выгодной для Ведущего.

Опасность а-коррупции подтверждается тем, что она очень часто является выгодной и для Ведомого. Так, при принуждении «мягкая» а-коррупция всегда более выгодна для Ведомого, чем «чистый» случай. И даже «жесткая» а-коррупция при определенных условиях, а именно при условии  $a < \frac{1}{2}$  является для Ведомого более выгодной, чем «чистый» случай. При побуждении «жесткая» а-коррупция более выгодна для Ведущего, чем «жесткая» р-коррупция при условии  $a < 1 - \frac{\varepsilon}{2}$ , которое выполняется практически всегда.

Следующая модель (Денин и Угольницкий 2010) является развитием базовой модели иерархического управления эколого-экономической системой с учетом коррупции. В качестве новых элементов в модели присутствует возможность взяткодателя давать одновременно несколько взяток, имеющих различную природу, а также обобщение понятия благосклонности Ведущего при совершении коррупционных сделок.

Рассматривается статическая двухуровневая теоретико-игровая модель множественной коррупции с применением методов иерархического управления с учётом возможной дачи двух видов взяток при одновременном требовании выполнения условий гомеостаза. Данная модель может быть использована в различных предметных областях. В качестве примеров можно привести эколого-экономические системы (например, распределение квот на добычу и переработку биоресурсов), системы социально-экономических отношений внутри трудовых коллективов (например, определение рабочей нагрузки на отдельно рассматриваемого работника либо команды), и т.д. В дальнейшем будет использована терминология эколого-экономических систем, поскольку она позволяет описать модель наиболее наглядно.

Субъектами игрового взаимодействия являются чиновник, выдающий квоты на некоторый возобновляемый ресурс и собирающий налоги на его добычу, далее именуемый «Ведущий» (субъект верхнего уровня) и лицо (либо предприятие), занимающееся добычей и переработкой этого ресурса, именуемое в дальнейшем «Ведомый» (субъект нижнего уровня).

В качестве базисной теоретико-игровой модели иерархического взаимодействия выступает игра Ю.Б.Гермейера (1976) класса  $\Gamma_2$  с дополнительным предположением об осведомлённости обоих участников о значении всех экзогенных параметров. Для количественного учёта уровня благосклонности Ведущего введены параметры, названные величинами жёсткости коррупции. Примером неблагосклонного

отношения (вымогательства) может служить изначально завышенная налоговая ставка либо заниженная квота, предоставляемая Ведомому, причём величина такого отклонения от нормативов определяется соответствующим параметром жёсткости. В соответствии с концепцией иерархического управления устойчивым развитием роль обеспечения условия гомеостаза в модели отдана исключительно Ведущему как лицу, несущему непосредственную ответственность за рациональное распределение квот. Нарушение гомеостаза ведет к штрафованию Ведущего при добыче ресурса Ведомым сверх квоты, выданной с учётом взяток, что позволяет избежать чрезмерной добычи ресурса последним. Функцию штрафа выполняет бесконечно большая константа  $M$  (5.1.12), входящая в последнее слагаемое критерия (5.1.1). Ставка налога считается заданной экзогенно (как законодательно установленная величина), однако Ведущий может её менять за взятку или вследствие влияния фактора благосклонности.

Взаимодействие игроков осуществляется следующим образом: Ведущий, зная значения всех экзогенных параметров, рассчитывает выгодность своих действий относительно возможного выбора собственных стратегий и потенциальной реакции Ведомого, одновременно с этим предполагая, что последний реагирует наименее выгодным для Ведущего образом. Далее Ведущий, реализуя механизм побуждения, определяет функции поощрения-наказания применительно к налогообложению  $p \in P^U(q)$ , где  $P^U(q)$  - множество отображений вида  $p : U(q) \rightarrow [0, 1]$ . Таким образом, Ведущий делает наиболее доходные для себя стратегии-реакции Ведомого выгодными для самого Ведомого, не ограничивая при этом области допустимых стратегий последнего. На следующем этапе Ведущий реализует механизм принуждения, определяя наиболее выгодный для него диапазон квот

$$Q_v = \{q : \forall s \in [1-a, 1], \forall p \in P^U(q) J_L(p, s) \leq J_L(p, q)\},$$

сужая тем самым область стратегий Ведомого до выгодных Ведущему значений. Основываясь на этом, Ведущий определяет оптимальные для себя стратегии и делает ход. Ведомый реагирует на него выбором взятки и доли изъятия

$$R(p, q) = \{(\beta_p, \beta_q, u) \in [0, +\infty) \times [0, +\infty) \times [0, a] : \forall \mu \in [0, +\infty), \forall \eta \in [0, +\infty), \forall s \in [0, a]$$

$J_F(\beta_p, \beta_q, u, p, q) \geq J_F(\mu, \eta, s, p, q)\}$ . В модели присутствуют два вида коррупционного взаимодействия:  $p$ -коррупция – снижение налоговой ставки на добычу ресурса за взятку;  $q$ -коррупция – повышение квот на добычу ресурса за взятку.



Задача Ведущего описывается следующим критерием:

$$J_L = c_1(p_\beta u^{k_1} - M \rho(U, u)) \rightarrow \max_{q \in Q_v} \max_{p \in P^U(q)} \min_{u \in R(p, q)} \quad (5.1.1)$$

при ограничениях

$$p_\beta = p - \gamma \beta_p + d_p; \quad (5.1.2)$$

$$u \in [0, 1 - q_\beta]; \quad (5.1.3)$$

$$q_\beta = q - \sigma \beta_q + d_q; \quad (5.1.4)$$

$$p, q, p_\beta, q_\beta \in [0, 1]; \quad (5.1.5)$$

$$U = [0, a]; \quad (5.1.6)$$

$$a \in [0, 1]; \quad (5.1.7)$$

$$d_p \in [0, \gamma]; \quad (5.1.8)$$

$$d_q \in [0, \sigma]; \quad (5.1.9)$$

$$k_1, k_2, \gamma, \sigma > 0; \quad (5.1.10)$$

$$\beta_p, \beta_q \geq 0; \quad (5.1.11)$$

$$M \rightarrow +\infty; \quad (5.1.12)$$

$$r(u, U) = \begin{cases} 1, & u \in U \\ 0, & u \notin U \end{cases}. \quad (5.1.13)$$

Параметры модели применительно к задаче Ведущего можно описать следующим образом:  $U$  – область гомеостаза, т.е. множество долей изъятия, добыча ресурса в рамках которых не приведёт к необратимому истощению его запасов;  $a$  – размер области гомеостаза как максимально позволенная величина добычи ресурса;  $u$  – доля изъятия ресурса Ведомым (является управлением Ведомого);  $p$  – налоговая ставка на изъятие ресурсов (является управлением Ведущего);  $p_\beta$  – налоговая ставка с учётом взятки;  $q$  – доля ресурса, которую необходимо оставить в системе для обеспечения воспроизводства ресурса (резерв). Квота в этом случае определяется как  $1 - q$  (является управлением Ведущего);  $q_\beta$  – доля ресурса с учётом взятки;  $M$  – бесконечно большая штрафная константа, выполняющая роль штрафа Ведущего в случае нарушения условий гомеостаза;  $\rho(\cdot)$  – функция-индикатор

множества, позволяющая выявить нарушения условия гомеостаза (условие считается нарушенным, если  $u \notin U$ );  $\gamma$  – эффективность р-коррупции, рассчитываемая как величина, на которую Ведущий снизит налоговую ставку при условии, что Ведомый отдаст ему весь ожидаемый доход;  $\sigma$  – эффективность q-коррупции, т.е. величина, на которую Ведущий расширит законодательно установленные рамки области гомеостаза при условии, что Ведомый отдаст ему весь ожидаемый доход;  $d_p$  – жёсткость р-коррупции – величина благосклонности Ведущего по отношению к Ведомому применительно к снижению налоговой ставки;  $d_q$  – жёсткость q-коррупции, т.е. величина благосклонности Ведущего по отношению к Ведомому применительно к расширению области гомеостаза;  $\beta_p$  – доля от ожидаемых доходов Ведомого направленная на незаконное изменение налоговой ставки (является управлением Ведомого);  $\beta_q$  – доля от ожидаемых доходов Ведомого, направленная на увеличение квот (является управлением Ведомого);  $c_1$  – доходность сделки для Ведущего на единицу добытого Ведомым ресурса;  $k_1$  – технологический коэффициент использования ресурса для Ведущего.

Задачей Ведомого является добыча ресурса в пределах установленных ведущим квот и оплата налога на добычу. Однако Ведомый также может дополнительно максимизировать свой доход, предложив Ведущему в качестве взятки некоторую часть своего ожидаемого дохода. Задача Ведомого имеет вид

$$J_F = c_2(1 - p\beta)u^{k_2}(1 - \beta_p - \beta_q) \rightarrow \max_{u, \beta_p, \beta_q} . \quad (5.1.14)$$

Выражения (5.1.2)-(5.1.11) являются общими как для задачи Ведущего, так и для задачи Ведомого. Параметры  $u, p, p_{\beta}, q, q_{\beta}, \gamma, \sigma, d_p, d_q, \beta_p, \beta_q$  и ограничения (5.1.2)-(5.1.11) в задаче Ведомого имеют тот же смысл, что и в задаче Ведущего. Кроме того, дополнительные параметры в задаче Ведомого имеют следующий смысл:  $c_2$  – доходность сделки для Ведомого на единицу добытого ресурса с учётом издержек на его добычу и переработку;  $k_2$  – технологический коэффициент использования ресурса для Ведомого.

На первом этапе исследования модели было найдено аналитическое решение задачи нелинейной оптимизации (5.1.2)-(5.1.11), (5.1.14) для идентификации областей реакции Ведомого, а также с целью поиска оптимальных значений параметров управления Ведомого для каждого из классов найденных областей. Параметры управления Ведущего в задаче (5.1.2)-(5.1.11), (5.1.14) рассматривались как свободные, поскольку, согласно устройству модели, Ведомый не может иметь на них прямого воздействия.

По мере решения задачи и анализа реакций, а также стратегий оптимального поведения был проведён поиск и группировка сходных элементов в полученных формулах, результатом чего явилось выявление параметра, позволяющего описать жёсткость коррупции для модели, включающей в себя более одного вида взяток. Вышеуказанный параметр был назван индикатором сводной относительной жёсткости (ИСОЖ). В случае присутствия в модели двух взяток он имеет следующий вид:

$$I_{pq} = 1 - \frac{d_p}{\gamma} - \frac{d_q}{\sigma} \in [-1, 1]. \quad (5.1.15)$$

При дальнейшем поиске и выявлении схожих компонентов с помощью ИСОЖ в модели (5.1.11)-(5.1.14) жёсткость коррупции была ранжирована согласно следующей шкале, градации которой обобщают понятия попустительства и вымогательства: «мягкая»  $\Leftrightarrow I_{pq} = 1$ ; «полумягкая»  $\Leftrightarrow I_{pq} \in (0, 1)$ ; «умеренная»  $\Leftrightarrow I_{pq} = 0$ ; «полужёсткая»  $\Leftrightarrow I_{pq} \in (-1, 0)$ ; «жёсткая»  $\Leftrightarrow I_{pq} = -1$ .

Данная шкала позволяет соотнести численные значения параметров жёсткости и эффективности для каждого из подвидов коррупции с мерой общего усложнения работы Вedomого вследствие устанавливаемых Ведущим барьеров. При дальнейшем анализе модели была найдена функция-критерий, позволяющая выделить и охарактеризовать области реакции Вedomого, названная «функцией характеристик реакций» (ФХР или RCF). Она имеет следующий вид:

$$RCF(p, q) = I_{pq} + \frac{1-p}{\gamma} + \frac{1-q}{\sigma}.$$

Значения ФХР с учётом знака вспомогательного выражения

$$I_{RCF} = \gamma a - \sigma k_2,$$

названного «уточняющим индикатором ФХР», однозначно определяют реакцию Вedomого.

При решении оптимизационной задачи (5.1.2)-(5.1.11), (5.1.14) были выделены пять областей, существенно различных по реакции Вedomого. Области, обеспечивающие выбор различных видов поведения Ведущего, представляют собой пересечение прямоугольника  $(p, q) \in [0, 1] \times [1-a, 1]$  в осях  $p$  и  $(1-q)$  и набора полуплоскостей, образуемых параллельными прямыми, описываемыми следующими системами неравенств:

$$\mathbf{I} = RCF(p, q) < 0; \quad (5.1.16)$$

$$\mathbf{II} = \begin{cases} 0 \leq RCF(p, q) \leq \frac{k_2 + 2}{\gamma} \\ RCF(p, q) > \frac{(k_2 + 2)a}{\sigma k_2} \end{cases}; \quad (5.1.17)$$

$$\mathbf{III} = \begin{cases} 0 \leq RCF(p, q) \leq \frac{(k_2 + 2)a}{\sigma k_2} \\ RCF(p, q) > \frac{k_2 + 2}{\gamma} \end{cases}; \quad (5.1.18)$$

$$\mathbf{IV} = \begin{cases} RCF(p, q) \geq 0 \\ RCF(p, q) \leq \frac{(k_2 + 2)a}{\sigma k_2} \end{cases}; \quad (5.1.19)$$

$$\mathbf{V} = \begin{cases} RCF(p, q) \leq \frac{k_2 + 2}{\gamma} \\ RCF(p, q) > \frac{k_2 + 2}{\gamma} \\ RCF(p, q) > \frac{(k_2 + 2)a}{\sigma k_2} \end{cases} \quad (5.1.20)$$

При любом заданном наборе экзогенных параметров области любого из видов не пересекаются, а их совокупность покрывает прямоугольник  $(p, q) \in [0, 1] \times [1 - a, 1]$ . Установлено, что дополнительным условием непустоты областей видов **II** и **III** является знак выражения (5.1.13), однако одновременно обе эти области существовать не могут. Доказано, что при любом фиксированном наборе экзогенных параметров одновременно могут существовать области не менее одного, но не более четырёх видов.

Для каждого из видов областей (5.1.16)–(5.1.20) определены оптимальные стратегии субъектов взаимодействия. Стратегии-взятки Ведомого над соответствующими видами областей выглядят следующим

щим образом:

$$\begin{pmatrix} \beta_{pI}^* \\ \beta_{qI}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{d_p + p - 1}{\gamma} \\ \frac{d_q + q - 1}{\sigma} \end{pmatrix} \text{ при } (p, q) \in \mathbf{I};$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{pII}^* \\ \beta_{qII}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left( \frac{1 + \frac{C}{\sigma} - \frac{(k_2 + 1)A}{\gamma}}{k_2 + 2} \right) \\ \frac{q - (1 - a) + d_q}{\sigma} \end{pmatrix} \text{ при } (p, q) \in \mathbf{II};$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{pIII}^* \\ \beta_{qIII}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{p + d_p}{\gamma} \\ \left( \frac{k_2 - 2 * \frac{C}{\sigma} + k_2 \frac{A}{\gamma}}{k_2 + 2} \right) \end{pmatrix} \text{ при } (p, q) \in \mathbf{III};$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{pIV}^* \\ \beta_{qIV}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left( \frac{1 + \frac{C}{\sigma} - \frac{(k_2 + 1)A}{\gamma}}{k_2 + 2} \right) \\ \left( \frac{k_2 - \frac{2C}{\sigma} + \frac{k_2 A}{\gamma}}{k_2 + 2} \right) \end{pmatrix} \text{ при } (p, q) \in \mathbf{IV};$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{pV}^* \\ \beta_{qV}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{p + d_p}{\gamma} \\ \frac{q - (1 - a) + d_q}{\sigma} \end{pmatrix} \text{ при } (p, q) \in \mathbf{V},$$

где  $A = 1 - p - d_p$ ;  $C = 1 - q - d_q$ .

Оптимальные значения целевых функций при выборе Ведомым стратегий из областей видов **I-V** соответственно равны:

$$1. J_L^* = 0; J_F^* = 0 \text{ при } (p, q) \in \mathbf{I}.$$

При выборе Ведущим управления, попадающего в область вида **I**, оба субъекта получают нулевой доход, поскольку Ведомому становится невыгодно добывать ресурс. В данном случае оказывает влияние значительная неблагосклонность Ведущего. Последнему требуется давать взятку лишь для того, чтобы повысить благосклонность Ведущего до минимально приемлемого уровня и получить право добывать ресурс (будем считать, что Ведущий лишает Ведомого такого права, пытаясь предложить изначально отрицательную квоту либо налоговую ставку, большую 100%). Данный вариант управления является крайне невыгодным для обоих игроков.

$$2. J_L^* = c_1 \left[ 1 - \frac{\gamma}{k_2 + 2} RCF(p, q) \right] a^{k_1}, \text{ при } (p, q) \in \mathbf{II};$$

$$J_F^* = c_2 \left[ \frac{\gamma}{k_2 + 2} RCF(p, q) \right] \left( \frac{k_1 + 1}{k_1 + 2} RCF(p, q) - \frac{a}{\sigma} \right) a^{k_2}$$

при  $(p, q) \in \mathbf{II}$ .

Выбор Ведущим стратегии из области вида **II** приводит к тому, что Ведомому становится выгодно максимизировать свой доход в большей степени из-за увеличения квоты, чем за счёт снижения налоговой ставки. Данный эффект наблюдается вследствие того, что благосклонность Ведущего при распределении квот намного выше, чем соответствующая благосклонность при сборе налогов. Настоящий вариант управления является относительно выгодным для Ведущего, поскольку он гарантированно получает положительный доход. Доход Ведомого также положителен.

$$3. J_L^* = 0 \text{ при } (p, q) \in \mathbf{III}; J_F^* = c_2 \left[ 1 - q - d_q \right]^{k_2} \left( 1 - \frac{p + d_p}{\gamma} \right)$$

при  $(p, q) \in \mathbf{III}$ .

При выборе Ведущим стратегии из области вида **III** Ведомому выгоднее давать взятку для полного освобождения от налогов, чем доплачивать за увеличение квот вследствие чрезвычайно высокой благосклонности Ведущего применительно к назначению налоговой

ставки, но не квот. Данное управление является невыгодным для Ведущего, поскольку освобождение Ведомого от налога на изъятие ресурса приносит первому нулевой доход.

$$4. J_L^* = c_1 \left( \frac{\sigma k_1 k_2}{(k_1 + 1)\gamma} \right)^{k_1} \left( \frac{1}{k_1 + 1} \right), \text{ при } (p, q) \in \mathbf{IV};$$

$$J_F^* = c_2 (\sigma k_2)^{k_2} \gamma \left( \frac{k_1}{(k_1 + 1)\gamma} \right)^{k_2 + 2}, \text{ при } (p, q) \in \mathbf{IV}.$$

Доказано, что выбор стратегии из данного множества управлений даёт Ведущему глобальный максимум целевой функции при выполнении ограничений (5.1.2)-(5.1.13). Вместе с этим, оказывают влияние условия существования области, описываемые системой неравенств (5.1.17). Несложно найти набор экзогенных параметров, при котором область вида **IV** будет пустой.

$$5. J_L^* = 0 \text{ при } (p, q) \in \mathbf{V}; J_F^* = c_2 I_{pq} a^{k_2} \text{ при } (p, q) \in \mathbf{V}.$$

Если Ведущий выбирает управление из множества вида **V**, Ведомый приобретает полное освобождение от налогов, а также квоту, расширенную до максимально возможной величины  $a$ . Данный эффект имеет место вследствие чрезвычайно высокой благосклонности Ведущего применительно к обоим видам управления при одновременном наличии высоких эффективностей обоих видов коррупции. Данный вариант управления является наиболее благоприятным для Ведомого, однако Ведущий будет придерживаться такого рода стратегии только в том случае, если области видов **II** и **IV** в его управлении будут пустыми, поскольку при выборе управления из этой области Ведущий также получает нулевой доход.

Предпочтительность выбора управлений Ведущим согласно классам реакции Ведомого выглядит следующим образом:

- 1) область вида **IV** (если она не пуста);
- 2) область вида **II** (если она не пуста, но область вида **IV** пуста);
- 3) области любого из видов **I**, **III**, **V**, если области вида **II** и **IV** пусты.

Следует также заметить, что выбор управлений из соответствующих областей может быть осуществлён в случае их непустоты, определяемой наличием хотя бы одной стратегии Ведущего  $(p_0, q_0)$ , для которой имеется значение функции  $\text{RCF}(p_0, q_0)$ , удовлетворяющее со-

ответствующему набору неравенств из (5.1.16)-(5.1.20), на что существенное влияние оказывает набор значений экзогенных параметров. Следует подчеркнуть, что при любом наборе экзогенных параметров области не менее одного, но не более четырёх видов являются непустыми. Следовательно, общий набор стратегий Ведущего всегда является непустым множеством. Однако выбор максимально выгодной для него стратегии не всегда возможен, как, например, в случае пустоты области вида **IV**. Более того, над областями видов **III** и **V** Ведомый получает ненулевой доход, в результате чего при выдвижении дополнительного предположения о благосклонности Ведущего относительно Ведомого в нейтральных ситуациях, первый может дополнительно как минимизировать, так и максимизировать доход Ведомого.

Рассмотрим в качестве примера модель (5.1.1)-(5.1.14) при следующем наборе параметров:  $\gamma=1.63$ ;  $\sigma=0.171$ ;  $d_p=0.488$ ;  $d_q=0.145$ ;  $a=0.3$ ;  $c_1=1$ ;  $c_2=1$ ;  $k_1=1$ ;  $k_2=1$ . В этом случае значение ИСОЖ

$$I_{pq} = 1 - \frac{0.488}{1.63} - \frac{0.145}{0.171} = -0.15,$$

что позволяет отнести сводную жёсткость коррупции в модели к классу «полужёсткая». Данный класс жёсткости характеризуется обшей умеренной неблагосклонностью Ведущего.

Определим существование областей реакции различных классов:

$$RCF(p, q) = -0.15 + \frac{1-p}{1.63} + \frac{1-q}{0.171}, \quad \frac{k_2+2}{\gamma} \approx 1.84$$

$$\frac{(k_2+2)*a}{\sigma k_2} \approx 2.63, \quad I_{RCF} = 0.318.$$

Согласно (5.1.17) область класса **II** при данном наборе внешних параметров является пустой. Кроме того, поскольку максимально возможное значение  $RCF$  над областью управлений Ведущего  $RCF(0, 0.7) \approx 2.217 < 2.63$ , область класса **V** также является пустой. Минимальное значение  $RCF$  над областью управлений Ведущего  $RCF(1, 1) = -0.15$ ; Следовательно, существуют непустые области реакции трёх классов: **I, III, IV**. Оптимальное управление следует искать среди точек области **IV**. Действительно, максимизирующей стратегией является точка  $(1, 0.757)$ , дающая Ведущему выигрыш в размере  $J_L^* = 0.304$ . Частные величины жёсткостей для налогов и квот



соответственно равны  $\frac{d_p}{\gamma}=0.3$ ;  $\frac{d_q}{\sigma}=0.85$ , что побуждает Ведомого покупать снижение налогов в значительно больших масштабах, чем дополнительную часть квоты. Этим пользуется Ведущий, назначающий начальную ставку налога в размере 100% и вымогающий взятку за её снижение. В итоге Ведомый, отдавая 72.4% от своего ожидаемого выигрыша, снижает ставку налога до 31%. Одновременно с этим Ведущий вследствие нежелательности применительно к распределению квот увеличивает долю ресурса, который будет оставлен в системе, с 0.757 до 0.902, что оставляет Ведомому максимально возможную квоту для добычи ресурса в размере  $1 - 0.902 = 0.098$ . Ведомому невыгодно докупать квоту вследствие низкой эффективности и высокой частной жёсткости  $q$ -коррупции, что побуждает его использовать максимально возможное количество ресурса, за которое не нужно давать взятку. В результате, Ведомый реагирует на действия следующей стратегией:  $(\beta_p^*, \beta_q^*, u^*) = (0.724, 0, 0.098)$ , что даёт ему выигрыш в размере  $J_F^* = 0.0186$ .

Помимо анализа областей реакции, была проведена оценка применимости используемых методов иерархического управления. В рассмотренной модели было обнаружено существенное структурное ограничение на метод побуждения, являющееся следствием взаимозависимости стратегий-взятки и параметров-критериев модели. Данное ограничение можно описать следующим образом.

В модели механизмы побуждения являются неприменимыми, поскольку при использовании Ведомым оптимальных стратегий реакции (5.1.16)-(5.1.20) реализуется следующая цепочка зависимостей  $u^* = u^*(\beta_q^*) = u^*(\beta_q^*(p)) = u^*(p)$ , в результате чего образуется «порочный» круг: Ведущий не может установить систему поощрений и наказаний  $p = p(q(u))$  применительно к налогообложению, поскольку не может чётко определить множество оптимальных (для Ведомого) долей изъятия, которое, в свою очередь, зависит от налоговой ставки, но она должна быть назначена самим Ведущим, причём все вышеуказанные действия должны быть реализованы игроками за один ход. Аналогичная ситуация реализуется при использовании метода побуждения применительно к распределению квот, в результате чего при дальнейшем исследовании модели принцип побуждения был заменён принципом принуждения. Данное ограничение можно отнести

к классу неустрашимых для принятого определения метода побуждения. Потенциальным решением указанной проблемы может служить внедрение в модель механизма манипуляций со стороны Ведущего применительно к Ведомому либо использование игр Гермейера класса  $\Gamma_3$  в качестве базисной модели иерархического взаимодействия.

Итак, получено выражение, обозначенное индикатором сводной относительной жёсткости (5.1.15), адекватно отражающее совместную жёсткость множественной коррупции. Найдена функция характеристик реакций, значения которой однозначно указывают на принадлежность управления к области реакции соответствующего класса. С помощью ФХР получены условия существования видов областей реакции. Оценены доходы игроков для областей реакции каждого найденного вида и указана предпочтительность выбора управления Ведущим согласно классификации его доходов по соответствующему классу реакции. Важным результатом является обнаружение и формализация структурного ограничения применимости метода побуждения.

Учет фактора коррупции в моделях иерархического управления с кибернетической точки зрения означает введение дополнительной обратной связи для коррумпированного Ведущего - не только по состоянию управляемой системы, но и по величине взятки (а может быть, и только по ней). В этом случае базовая модель иерархического управления устойчивым развитием в статической форме (1.3.8) – (1.3.11) принимает вид

$$J_L(\pi(p(\beta), q(\beta), u)) = g_L(\pi(p(\beta), q(\beta), u)) - M\rho(u, U_L(\beta)) \rightarrow \max \quad (5.1.21)$$

$$p(\beta) \in P(\beta), q(\beta) \in Q(\beta); \quad (5.1.22)$$

$$J_F(\pi(p(\beta), q(\beta), u)) \rightarrow \max \quad (5.1.23)$$

$$u \in U(q(\beta)), \quad (5.1.24)$$

т.е. рассматриваются позиционные стратегии Ведущего и область гомеостаза  $U_L$  также зависит от величины взятки. Здесь  $\pi : P(\beta) \times Q(\beta) \times U \rightarrow P \times Q \times U$ - проекция (Горелик и Кононенко 1982).

## 5.2. Учет частных интересов при распределении ресурсов

Рассмотрим пример, предложенный в (Опойцев 1986:14-15) и развитый в (Курбатов и Угольницкий 1998:220-224). Пусть экономическая система состоит из управляющего органа (Центра) и нескольких подчиненных ему предприятий или подразделений (Исполнителей).

Центр располагает некоторым ресурсом (например, финансовым) в количестве  $R$  и распределяет его между Исполнителями, каждому из которых достается  $x_i$  единиц ресурса ( $i=1, \dots, n$ , где  $n$  - число Исполнителей). Получив свою долю ресурса  $x_i$ ,  $i$ -й Исполнитель производит продукцию в количестве  $\varphi_i(x_i)$ , где  $\varphi_i$  - производственная функция, связывающая величины затрачиваемых ресурсов и выпускаемой продукции. Тогда естественно считать, что задачей Центра является максимизация суммарного выпуска продукции

$$J_0 = \sum_{i=1}^n \varphi_i(x_i) \rightarrow \max \quad (5.2.1)$$

при очевидных ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_i = R \quad (5.2.2)$$

$$x_i \geq 0, \quad i=1, \dots, n. \quad (5.2.3)$$

Задача (5.2.1)-(5.2.3) представляет собой нелинейную задачу условной оптимизации и может быть решена методом множителей Лагранжа. Для иллюстрации выберем степенную производственную функцию

$$\varphi_i(x_i) = r_i \sqrt{x_i}, \quad i=1, \dots, n, \quad (5.2.4)$$

где  $r_i \geq 0$  - параметр, характеризующий производственные возможности  $i$ -го предприятия. Функция Лагранжа имеет вид

$$L(x, \lambda) = \sum_{i=1}^n r_i \sqrt{x_i} + \lambda(R - \sum_{i=1}^n x_i). \quad (5.2.5)$$

Согласно методу Лагранжа, нужно решить систему алгебраических уравнений

$$\partial L / \partial x_i = 0 \quad (i=1, \dots, n), \quad \partial L / \partial \lambda = 0,$$

откуда получаем значение точки, "подозрительной" на экстремум:

$$x_i^* = R r_i^2 / \left( \sum_{i=1}^n r_i^2 \right), \quad i=1, \dots, n. \quad (5.2.6)$$

Легко проверить, что значение (5.2.6) действительно является точкой максимума функции (5.2.5), следовательно, и точкой максимума исходной целевой функции (5.2.1). Это решение допускает ясную экономическую интерпретацию: Центр должен выделять ресурсы пропорционально производственным возможностям  $i$ -го Исполнителя, характеризуемым параметром  $r_i$ . Казалось бы, задача распреде-

ления ресурса Центром для получения максимального суммарного выпуска продукции решена. Однако более внимательный анализ позволяет обнаружить некоторые тонкости.

Прежде всего отметим, что любая производственная функция характеризует предельные возможности производства, являясь лишь верхней границей целого множества производственных возможностей: вкладывая  $x_i^0$  единиц ресурса, можно получить выпуск продукции в любом количестве на отрезке  $[0, \varphi_i^0]$ , а совсем не обязательно в количестве  $\varphi_i^0$ , чем пренебрегает использование производственной функции.

Чтобы побудить Исполнителя использовать свои производственные возможности в наибольшей степени, следует учесть его интересы, например, экономически рациональное стремление к максимизации прибыли

$$J_i = \varphi_i(x_i) - c_i x_i \rightarrow \max, \quad (5.2.7)$$

где  $c_i$  - цена единицы ресурса для  $i$ -го Исполнителя.

Еще более существенно следующее соображение. Чтобы найти оптимальное решение по формуле (5.2.6) в виде конкретных чисел, Центр должен знать реальные производственные возможности Исполнителей, характеризуемые значениями параметров  $r_i$ . Но они-то как раз Центру и не известны!

Конечно, Центр может официально запросить у Исполнителей значения параметров  $r_1, \dots, r_n$ ; однако, в ответ он получит набор некоторых значений  $s_1, \dots, s_n$ , которые совсем не обязательно совпадут с истинными. Чтобы показать, что Исполнителям может оказаться выгодным исказить информацию о значениях  $r_i$ , рассмотрим следующий численный пример.

Пусть система “Центр - Исполнители” включает всего три элемента, причем  $R = 100$ ,  $r_1 = 100$ ,  $r_2 = 10$ . Тогда задача Центра (5.2.1)-(5.2.3) принимает вид  $J_0 = 100\sqrt{x_1} + 10\sqrt{x_2} \rightarrow \max$  при ограничениях

$$x_1 + x_2 = 100, \quad x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0.$$

Рассмотрим различные варианты информированности Центра о производственных возможностях Исполнителей.

1. Центр не располагает никакой информацией о производственных возможностях Исполнителей. В этом случае наиболее естественным представляется разделить имеющийся ресурс пополам:  $x_1 = x_2 = 50$ , откуда  $\varphi_1(50) = 707.11$ ;  $\varphi_2(50) = 70.71$ , и суммарный выпуск продукции равен  $J_0^1 = 777.82$ .

2. Центр знает, что первый Исполнитель обладает гораздо большими возможностями, чем второй: положим  $x_1 = 90$ ,  $x_2 = 10$  и полу-

чим  $\varphi_1(90) = 948.68$ ;  $\varphi_2(10) = 31.62$ ;  $J_0^2 = 980.30$ .

3. Наконец, предположим, что Центр точно знает  $r_1$  и  $r_2$ ; тогда по формуле (5.2.6)  $x_1^* = 99.01$ ;  $x_2^* = 0.99$ , и получаем

$$\varphi_1(99.01) = 995.04; \varphi_2(0.99) = 9.95; J_0^3 = 1004.99.$$

Таким образом, точная информация о производственных возможностях Исполнителей по сравнению с ее полным отсутствием позволяет Центру получить значительный выигрыш

$$\Delta = (J_0^3 - J_0^1)/J_0^3 * 100\% \approx 22.6\%. \quad (5.2.8)$$

Однако, сравнивая значения выделенных ресурсов в вариантах 1 и 3, легко понять, что Центр вряд ли получит от второго Исполнителя истинную информацию о производственных возможностях последнего.

Таким образом, углубленный анализ ситуации побуждает перейти от оптимизационной постановки к теоретико-игровой, учитывающей интересы и возможности не только Центра, но и всех остальных элементов системы. Именно, построим бескоалиционную игру  $(n+1)$ -го лица в нормальной форме:

$$G = \langle \{B_0, B_1, \dots, B_n\}, \{x_i\}, \{c_i\}, \{s_i\}, \{J_i\} \rangle. \quad (5.2.9)$$

n    n    n    n  
i=1 i=1 i=1 i=0

Здесь

$\{B_0, B_1, \dots, B_n\}$  - множество игроков (Центр  $B_0$  и Исполнители  $B_1, \dots, B_n$ );

$\{x_i\}, \{c_i\}, i=1, \dots, n$  - множества стратегий Центра;

$\{s_i\}, i=1, \dots, n$  - множества стратегий Исполнителей;

$\{J_i\}, i=0, 1, \dots, n$  - функции выигрыша игроков.

Функции выигрыша в игре (5.2.9) определяются формулами (5.2.1), (5.2.7) и формализуют интересы игроков: Центр стремится максимизировать суммарный выпуск продукции, а каждый Исполнитель - свою прибыль. Возможности игроков по достижению своих целей характеризуются множествами их стратегий, т.е. действий, числовые параметры которых определяют значение целевой функции (критерия оптимальности). В нашем примере множество стратегий Центра включает величины выделяемых ресурсов  $x_i$  и цены на ресурс  $c_i$ , а множества стратегий каждого Исполнителя - возможные значения  $s_i$  реальных параметров  $r_i$ , сообщаемые Исполнителями Центру.

Таким образом, передаваемая Исполнителями Центру информация - это стратегия Исполнителей, что естественным образом ставит

вопрос о возможности их оппортунистического поведения и необходимости иерархического управления.

Проблема согласования частных и общественных (в случае организации – общесистемных) интересов известна давно. В своей работе «Экономика благосостояния» (1920) английский экономист А.Пигу привел целый ряд примеров «экстерналий», то есть незапланированных последствий сделки между первой и второй сторонами, оказывающими воздействие на третью (а иногда четвертую, пятую и т.д.) сторону. Такими примерами являются разрушение окрестностей строительством промышленных предприятий в жилых районах, повышение расходов потребителей в результате конкурентной рекламы, нанесение ущерба окружающей среде кроликами, разводимыми в охотничьих заповедниках, и т.п. Экологические издержки производства (в первую очередь загрязнение окружающей среды) служат предметом серьезного внимания в современной экономике. Хорошо известна также «проблема безбилетника», характерный пример которой – отказ от уплаты налогов отдельным предпринимателем, считающим, что его личное решение не повлечет существенных последствий для государства в целом.

Одним из наиболее интересных примеров математической формализации взаимодействия частных и общественных интересов служит так называемая модель Гермейера - Вателя (1974). Она представляет собой игру  $n$  лиц, в которой функции выигрыша имеют вид

$$u_i(x_1, \dots, x_n) = f_i(x_i) + f(a_1 - x_1, \dots, a_n - x_n), i = 1, \dots, n, \quad (5.2.10)$$

а множества допустимых стратегий игроков суть  $0 \leq x_i \leq a_i, i=1, \dots, n$ . Таким образом, каждый игрок делит свой ресурс  $a_i$  между частными и общественными нуждами, частные интересы описываются первым слагаемым функции выигрыша, общественные – вторым (одинаковым у всех игроков). Ю.Б.Гермейер и И.А.Ватель доказали, что если функции  $f$  и  $f_i, i=1, \dots, n$ , монотонно возрастают, то в игре существует оптимальное по Парето равновесие по Нэшу. Кроме того, они предложили эффективный способ нахождения решений игры. Упорядочим всех игроков по принципу

$$\lambda_1 f_1(a_1) \geq \lambda_2 f_2(a_2) \geq \dots \geq \lambda_n f_n(a_n).$$

Тогда оказывается, что существует такое  $p \leq n$ , что для  $i \geq p$  следует принять  $x_i = a_i$ , то есть игроки, у которых  $\lambda_i f_i(a_i)$  малы, могут расходовать весь ресурс на частные интересы. Остальные  $x_i$  будут определяться из системы уравнений  $\lambda_i f_i(a_i - x_i) = f(a_1 - x_1, \dots, a_p - x_p), i=1, \dots, p$ . Таким образом, некоторые игроки оказываются «безбилетниками»: у них либо не хватает ресурса ( $a_i$  мало), либо низкая технология ( $f_i(a_i)$

мало), либо низкая заинтересованность в результатах коллективного решения ( $\lambda_i$  мало).

Модель Гермейера - Вателя служит естественной формализацией ситуаций типа «путешественники в одной лодке», в которых все субъекты помимо личных интересов имеют общий интерес («доплыть до берега»). К этому классу относятся прежде всего экологические проблемы, требующие совместных кооперативных решений (загрязнение окружающей среды, всемирное потепление и т.п.). За последние годы был предложен ряд обобщений и приложений модели Гермейера - Вателя.

На наш взгляд, целесообразно рассмотреть в качестве одного из обобщений модели Гермейера - Вателя (5.2.10) игру с частично сопадающими интересами с функциями выигрыша вида

$$u_i(x_1, \dots, x_n) = f_i(x_1, \dots, x_n) + f(x_1, \dots, x_n), i = 1, \dots, n, \quad (5.2.11)$$

где первое слагаемое описывает частный интерес игрока, второе – общие интересы игроков. Эта модель описывает ряд типичных ситуаций организационного управления. Например, нецелевое использование единичного (без ограничения общности) ресурса можно описать моделью иерархической игры вида

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2) &= f(x_1, x_2) + f_1(1 - x_1), 0 \leq x_1 \leq 1, \\ u_2(x_1, x_2) &= f(x_1, x_2) + f_2(x_1 - x_2), 0 \leq x_2 \leq 1, \end{aligned} \quad (5.2.12)$$

где  $f$  – функция общего интереса,  $f_1$ ,  $f_2$  – функции частных интересов Центра и Подчиненного соответственно,  $x_1$  – доля ресурса, выделяемая Центром Подчиненному (при этом  $1-x_1$  ресурса Центр использует на собственные нужды),  $x_2$  – доля ресурса, используемая Подчиненным на общесистемные нужды (при этом  $x_1-x_2$  Подчиненный использует на нецелевые нужды).

Рассмотрим более общую модель распределения ресурсов в иерархической системе с учетом коррупции (Горбанева и Угольницкий 2009). Двухуровневая древовидная модель управления состоит из экономического Центра и  $n$  подчиненных ему подразделений. Центр имеет некоторое количество ресурсов  $R$ , которое необходимо распределить между Подчиненными. Не исключено, что Центр оставляет часть ресурсов на собственные цели, и что Подчиненные, в свою очередь, могут распределить доставшееся им количество ресурсов как на общесистемные цели, так и на свои частные цели. Также учтена возможность влияния Подчиненных на количество распределенных им ресурсов при помощи механизма коррупции. И Центр, и Подчиненные стремятся максимизировать свои целевые функции от ис-

пользования ресурсов  $J_0$  и  $J_i$ ,  $i=1, \dots, n$  соответственно. Без ограничения общности примем  $R=1$ .

В целевую функцию Центра включаются средства, полученные от использования ресурсов Подчиненными в общих целях, средства, полученные от использования оставшихся ресурсов в своих собственных интересах и средства, полученные от Подчиненных в качестве взятки.

Целевая функция Подчиненного состоит из дохода от его деятельности, направленной на общесистемные цели, и от деятельности, направленной на свои частные цели. Центр может задать минимальную долю ресурсов, которую Подчиненный должен потратить на общесистемные цели. Математическая модель выглядит следующим образом:

Задача Центра:

$$J_0 = H\left(1 - \sum_{i=1}^n r_i(b_i)\right) + \sum_{i=1}^n g_i(u_i r_i) + \sum_{i=1}^n b_i r_i(b_i) \rightarrow \max$$

$$0 \leq q_i(b_i) \leq 1; 0 \leq r_i(b_i) \leq 1; \sum_{i=1}^n r_i(b_i) \leq 1.$$

Задача Подчиненного:

$$J_i = h_i((1 - b_i - u_i)r_i) + g_i(u_i r_i) \rightarrow \max$$

$$q_i(b_i) \leq u_i \leq 1; b_i + u_i \leq 1; 0 \leq b_i \leq 1, i = 1, \dots, n,$$

где  $b_i$  – доля выделенного ресурса, возвращаемая  $i$ -м Подчиненным Центру в качестве взятки (от  $r_i$ );  $r_i(b_i)$  – доля ресурса, выделяемая  $i$ -му Подчиненному Центром (от  $R$ );  $u_i$  – доля выделенного ресурса, используемая  $i$ -м Подчиненным для решения общесистемных задач;  $q_i(b_i)$  – нижняя граница значений  $u_i$ , контролируемая Центром (от  $r_i$ );  $g_i(u_i r_i)$  – выигрыш системы от деятельности  $i$ -го Подчиненного;  $h_i((1 - u_i - b_i)r_i)$  – выигрыш  $i$ -го субъекта от его частной деятельности;  $H\left(1 - \sum_{i=1}^n r_i(b_i)\right)$  – выигрыш Центра от нецелевого использования ресурсов. Функции  $g_i(x)$ ,  $h_i(x)$  и  $H(x)$  являются производственными с коэффициентом отдачи  $\beta$ .

В совокупности эти задачи образуют иерархическую игру двух лиц в нормальной форме. Стратегиями Центра являются распределение ресурсов  $r_i$  и назначение контроля над использованием ресурсов  $q_i$ . Стратегиями Подчиненных являются следующие величины: доля ресурса  $u_i$ , выделенного Центром, используемая на общесистемные



цели, и доля ресурсов  $b_i$ , возвращаемая Центру в качестве взятки. Центр имеет право первого хода. В качестве решения ищется равновесие по Штакельбергу.

Рассматриваются следующие механизмы коррупции:

- 1)  $r_i = r_i(b_i)$  – коррупция при выделении ресурсов;
- 2)  $q_i = q_i(b_i)$  – коррупция при контроле выполнения общесистемных требований, причем каждый из этих видов коррупции рассматривается в двух случаях: попустительства и вымогательства.

Использованы следующие виды параметризации:

1) функция контроля Центром использования ресурсов  $i$ -м Подчиненным от количества взятки  $q_i(b_i)$ :

■  $q_i(b_i) \equiv q_{i0}$  (отсутствие коррупции при контроле выполнения общесистемных требований);

■  $q_i(b_i) = q_{i0}(1 - b_i)$  (случай попустительства,  $q_{i0}$  – начальный уровень контроля над использованием ресурсов при отсутствии взятки, который уменьшается с увеличением размера предложенной взятки до нуля);

■  $q_i(b_i) = 1 - (1 - q_{i0})b_i$  (случай вымогательства,  $q_{i0}$  – конечный уровень контроля над использованием ресурсов при уровне взятки, равном 100%, который увеличивается с уменьшением размера предложенной взятки до единицы);

2) функция доли ресурса, выделяемой  $i$ -му Подчиненному Центром, от уровня взятки  $r_i(b_i)$ :

■  $r_i(b_i) \equiv r_{i0}$  (отсутствие коррупции при распределении ресурсов);

■  $r_i(b_i) = r_{i0} + \frac{(k-1)b_i}{n}$  (случай попустительства,  $r_{i0}$  – начальная доля ресурсов, выделенная Подчиненному при отсутствии взятки, которая увеличивается с увеличением размера предложенной взятки);

■  $r_i(b_i) = \frac{b_i}{n}$  (случай вымогательства, начальная доля ресурсов, выделенных Подчиненному, равна нулю)

В случае отсутствия механизма коррупции равновесие по Штакельбергу выглядит следующим образом:

$$u_i = 1, \quad b_i = 0, \quad q_i = 1,$$

$$r_i^* = \frac{1^{-\beta} \sqrt[\beta]{g_i(x)}}{\sum_{i=1}^n 1^{-\beta} \sqrt[\beta]{g_i(x)} + 1^{-\beta} \sqrt[\beta]{H(x)}}, \quad r_0^* = \frac{1^{-\beta} \sqrt[\beta]{H(x)}}{\sum_{i=1}^n 1^{-\beta} \sqrt[\beta]{g_i(x)} + 1^{-\beta} \sqrt[\beta]{H(x)}},$$

$$J_i(r_i^*) = \frac{g_i^{\frac{1}{1-\beta}}(1)}{\left( \sum_{i=1}^n g_i^{\frac{1}{1-\beta}}(1) + H^{\frac{1}{1-\beta}}(1) \right)^\beta}, \quad J_0(r^*) = \left( \sum_{i=1}^n g_i^{\frac{1}{1-\beta}}(1) + H^{\frac{1}{1-\beta}}(1) \right)^{1-\beta}.$$

В случае вымогательства при распределении ресурсов решение задачи: стратегия Подчиненного

$$u_i = \frac{1-\beta \sqrt[1-\beta]{g_i(x)}}{2 \left( 1-\beta \sqrt[1-\beta]{g_i(x)} + 1-\beta \sqrt[1-\beta]{h_i(x)} \right)}, \quad b_i = 1/2.$$

$$\text{Стратегия Центра } q_{i0}=1, \quad r_i = \frac{1}{2n}.$$

Здесь Центр не оставляет Подчиненным возможности использовать ресурсы на свои частные цели, т.к. все ресурсы, не использованные на общесистемные цели, Центр забирает себе в качестве взятки.

В случае попустительства аналитически удалось найти только стратегию Подчиненного:

$$b_i = \frac{1}{2} - \frac{n_{i0}}{2(k-1)}, \quad u_i = \frac{1-\beta \sqrt[1-\beta]{g_i(x)}}{1-\beta \sqrt[1-\beta]{g_i(x)} + 1-\beta \sqrt[1-\beta]{h_i(x)}} \left( \frac{1}{2} + \frac{nr_{i0}}{2(k-1)} \right),$$

где  $x$  – любая точка из промежутка  $(0; 1]$ , откуда видно, что  $b_i \leq \frac{1}{2}$ .

Доказано, что стратегии Центра  $q_i$  в случае попустительства можно найти при помощи метода последовательных приближений, а набор стратегий  $r_i$  при помощи метода линеаризации.

Как при наличии, так и при отсутствии частного интереса у Подчиненного, количество ресурсов, возвращаемое Центру в качестве взятки, одинаково, т.е. отсутствие или наличие частного интереса на размер взятки не влияет. А вот оставшиеся средства (минус средства, полученные от Подчиненных в качестве взятки) распределяются Подчиненным в зависимости от того, имеются или нет частные интересы и каковы его производственные мощности.

Пусть  $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$  – конечное множество субъектов экономической системы, где  $\{0\}$  – Центр. Рассмотрим возможность объединения в коалиции, то есть подмножества  $K \subseteq N$ . В двухуровневой иерархической системе управления возможны следующие основные типы коалиций: 1) вертикальная коалиция – коалиция Центра и Подчиненного; 2) горизонтальная коалиция – двух или нескольких Подчиненных; 3) комплексная коалиция – коалиция Центра с несколькими Подчиненными. Найдены выигрыши каждой коалиции, а также способы распределения выигрыша между всеми участниками коали-

ции (вектор Шепли, вектор пропорционального распределения) для задачи распределения ресурсов как кооперативной игры. Для каждой коалиции вычислена величина  $\Delta_K = v(K) - \sum_{i \in K} v(i)$ , которая дает количественную характеристику выгоды объединения в коалицию  $K$ . Найден выигрыш от вступления в коалицию всех участников системы

$$v(N) = \left( \sum_{i=1}^n \left( (2g_i(1))^{1-\beta} + h_i(1)^{1-\beta} \right) + H(1)^{1-\beta} \right)^{1-\beta},$$

который можно оптимально распределить между участниками системы при помощи вектора Шепли или вектора пропорционального распределения (Агиева и др. 2003). Найден вектор Шепли:

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= \frac{1}{n+1} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i=1}^n \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{2g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right) \right)^{1-\beta} - \frac{n-1}{2(n+1)} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i=1}^n 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right)^{1-\beta} + \\ &\quad + \sum_{s=2}^n \gamma(s) \sum_{\substack{\forall K \\ |K|=s-1}} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i \in K} 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} + \sum_{i \in K} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{2g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right) \right)^{1-\beta} \\ \Phi_i &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)}}{\left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i=1}^n 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} \right)^\beta} + \sum_{s=2}^n \gamma(s) \sum_{\substack{\forall K \\ |K|=s-1 \\ i \in K}} \left[ \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i \in K} 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} + \sum_{i \in K} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{2g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right) \right)^{1-\beta} - \right. \\ &\quad \left. - \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i \in K \setminus \{i\}} 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} + \sum_{i \in K \setminus \{i\}} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{2g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right) \right)^{1-\beta} \right] \end{aligned}$$

Найден также вектор пропорционального распределения:

$$\begin{aligned} x_0 &= \left( \sum_{i=1}^n 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{2g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right) \right)^{1-\beta} \frac{\sum_{i=1}^n 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)}}{2 \sum_{i=1}^n 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)}} \\ x_i &= \frac{1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)}}{2 \sum_{i=1}^n 1-\beta \sqrt[\beta]{g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)}} \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{H(1)} + \sum_{i=1}^n \left( 1-\beta \sqrt[\beta]{2g_i(1)} + 1-\beta \sqrt[\beta]{h_i(1)} \right) \right)^{1-\beta}. \end{aligned}$$

Рассмотрим теперь динамическую модель распределения ресурсов в древовидной системе управления следующего вида:

$$f_0(x(t), u_1(\bullet), \dots, u_n(\bullet)) = \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T g_i(x(t), u_i(t)) dt \rightarrow \max;$$

$$0 \leq q_i(t) \leq 1; r_i(t) \geq 0, i \in M; \sum_{i \in M} r_i(t) = 1, t \in [t_0, T];$$

$$f_i(x(t), u_i(t)) = g_i(x(t), u_i(t)) + h_i(x(t), u_i(t)), i \in M, t \in [t_0, T];$$

$$q_i(t) \leq u_i(t) \leq r_i(t), i \in M, t \in [t_0, T];$$

$$\frac{dx}{dt} = F(x(t), u_1(t), \dots, u_n(t)), x(0) = x_0.$$

Древовидная иерархическая структура состоит из  $n+1$  элемента: выделенного элемента верхнего уровня (Ведущий), обозначенного индексом 0, и  $n$  элементов нижнего уровня (Ведомых). Обозначим все множество элементов через  $N = \{0, 1, \dots, n\}$ , а множество Ведомых через  $M = \{1, \dots, n\}$ . Ведущий управляет Ведомыми по отдельности посредством управлений принуждения  $q_i$  (административные воздействия) и управлений побуждения  $r_i$  (ресурсы). Без ограничения общности можно считать общий ресурс равным единице. После получения значений переменных  $q_i$  и  $r_i$  каждый Ведомый  $i \in M$  выбирает значение своей управляющей переменной  $u_i$  (величина усилий). Задачей Ведущего является максимизация функции выигрыша  $f_0$ , а задачей Ведомого – максимизация функции выигрыша  $f_i$ . Предполагается, что слагаемое  $g_i$  выражает общесистемные интересы, а  $h_i$  выражает частные интересы  $i$ -го Ведомого; функции  $g_i$  неотрицательны, непрерывны, дифференцируемы и монотонно возрастают по  $u_i$ ,  $g_i(x(t), 0) = 0$ ; функции  $h_i$  неотрицательны, непрерывны, дифференцируемы и монотонно убывают по  $u_i$ ,  $h_i(x(t), r_i(t)) = 0$  для каждого  $t \in [t_0, T]$ .

Чтобы определить кооперативную дифференциальную игру с начальным состоянием  $x_0$  и периодом  $[t_0, T]$  на основе принуждения, достаточно построить характеристическую функцию  $v: 2^N \rightarrow \mathbb{R}$ , используя определение принуждения (1.3.11). В этом случае значения  $r_i$  фиксированы, и Ведущий выбирает  $q_i$ ,  $i \in M$ , как программные стратегии  $q_i(\cdot) = \{q_i(t)\}$ ,  $t \in [t_0, T]$ . Имеем

$$v(\{i\}; x_0, T - t_0) = \max_{0 \leq q_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M} \min_{u(t) \in R_i(q_i(\bullet), r_i(\bullet)), i \in M} \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T g_i(x(t), u_i(t)) dt = \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt;$$

$$R_i(q_i(t), r_i(t)) = \text{Arg} \max_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet)} f_i(x(t), u_i(t)), i \in M, t \in [t_0, T];$$

Механизм принуждения имеет вид  $q_i(t) = r_i(t) = u_i^*(t) = r_i(t)$ ,  $i \in M$ , где  $u_i^*(t)$  – оптимальная реакция  $i$ -го Ведомого на  $q_i(t)$ ,  $t \in [t_0, T]$ .

Соответственно,

$$v(\{i\}; x_0, T - t_0) = \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt + \int_{t_0}^T h_i(x(t), r_i(t)) dt = \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt, i \in M;$$

$$v(K; x_0, T - t_0) = \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T f_i(x(t), r_i(t)) dt = \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt, K \subseteq M.$$

Таким образом, обладающий полными возможностями принуж-

дения Ведущий может заставить всех Ведомых следовать исключительно общесистемным интересам. Далее,

$$\begin{aligned}
v(\{0\} \cup K; x_0, T - t_0) &= \max_{0 \leq q_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M} \max_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in K} \min_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M \setminus K} \int_{t_0}^T \sum_{i \in M} g_i(x(t), u_i(t)) dt + \\
&+ \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), u_i(t)) dt + \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T h_i(x(t), u_i(t)) dt = \\
&= \max_{0 \leq q_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M} \max_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in K} \min_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M \setminus K} \left[ \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i(t)) dt + \right. \\
&+ \int_{t_0}^T h_i(x(t), u_i(t)) dt) + \sum_{i \in M \setminus K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), u_i(t)) dt \left. \right] = \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))) dt + \\
&+ \sum_{i \in M \setminus K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt, \\
&\sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(u_i^*(t)) + h_i(u_i^*(t))) dt =
\end{aligned}$$

$$= \max_{0 \leq q_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in K} \max_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in K} \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i(t)) + h_i(x(t), u_i(t))) dt,$$

где механизм принуждения имеет вид  $q_i^*(\bullet) = \begin{cases} u_i^*(\bullet), i \in K, \\ r_i(\bullet), i \in M \setminus K. \end{cases}$   
Наконец,

$$\begin{aligned}
v(N; x_0, T - t_0) &= \max_{0 \leq q_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M} \max_{q_i(\bullet) \leq u_i(\bullet) \leq r_i(\bullet), i \in M} \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i(t)) + h_i(x(t), u_i(t))] dt = \\
&= \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))] dt.
\end{aligned}$$

Итак, если Ведущий вступает в коалицию с Ведомыми, то он начинает учитывать их частные интересы, и точка максимума смещается.

*Лемма.* Функция  $v$  супераддитивна.

*Доказательство.* Достаточно рассмотреть три случая:

1)  $\forall K, L \subseteq M (K \cap L = \emptyset)$

$$\begin{aligned}
v(K; x_0, T - t_0) + v(L; x_0, T - t_0) &= \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt + \sum_{i \in L} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt = \\
&= \sum_{i \in K \cup L} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt = v(K \cup L; x_0, T - t_0);
\end{aligned}$$

2)  $\forall K \subseteq M$

$$\begin{aligned} & v(\{0\} \cup K; x_0, T - t_0) - v(\{0\}; x_0, T - t_0) - v(K; x_0, T - t_0) = \\ & = \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))] dt + \sum_{i \in M \setminus K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt - \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt - \\ & - \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt = \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t)) - 2g_i(x(t), r_i(t))] dt \geq 0; \end{aligned}$$

3) для  $\forall K, L \subseteq M (K \cap L = \emptyset)$  as far  $M \setminus K = M \setminus (K \cup L) \cup L$  получаем

$$\begin{aligned} & v(\{0\} \cup K \cup L; x_0, T - t_0) - v(\{0\} \cup K; x_0, T - t_0) - v(L; x_0, T - t_0) = \\ & = \sum_{i \in K \cup L} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))] dt + \sum_{i \in M \setminus (K \cup L)} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt - \\ & - \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))] dt - \sum_{i \in M \setminus K} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt - \sum_{i \in L} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt = \\ & = \sum_{i \in L} \int_{t_0}^T [2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t)) - 2g_i(x(t), r_i(t))] dt \geq 0. \end{aligned}$$

Следовательно, функция  $v$  супераддитивна и порождает кооперативную дифференциальную игру на основе принуждения  $\Gamma_v = \langle N; v; x_0, T - t_0 \rangle = \Gamma_v(x_0, T - t_0)$ . Напомним, что множество недоминируемых дележей игры  $\Gamma_v(x_0, T - t_0)$  называется  $C$ -ядром и обозначается  $C_v(x_0, T - t_0)$ , а вектор Шепли  $\Phi^v(x_0, T - t_0)$  определяется формулами

$$\begin{aligned} \Phi_i^v(x_0, T - t_0) &= \sum_{K \subset N(i \in K)} \gamma(k) [v(K; x_0, T - t_0) - v(K \setminus \{i\}; x_0, T - t_0)], i = 1, \dots, n, \\ \gamma(k) &= \frac{(n-k)!(k-1)!}{n!}, k = |K|, n = |N|. \end{aligned} \quad (5.2.13)$$

*Теорема.* В игре  $\Gamma_v(x_0, T - t_0)$  справедливо  $\Phi^v(x_0, T - t_0) \in C_v(x_0, T - t_0)$ .

*Доказательство.* Вычислим компоненты вектора Шепли согласно (5.2.13):

$$\begin{aligned}
& + \gamma(n) \sum_{\{0\} \in K, |K|=n} [v(K; x_0, T-t_0) - v(K \setminus \{0\}; x_0, T-t_0)] + \gamma(n+1) [v(N; x_0, T-t_0) - v(M; x_0, T-t_0)] = \\
& = \gamma(1) \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt + \gamma(2) \sum_{\{0\} \in K, |K|=2} \int_{t_0}^T [\sum_{i \in K} (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t)))] + \\
& + \sum_{i \in M \setminus K} g_i(x(t), r_i(t)) - \sum_{i \in K} g_i(x(t), r_i(t))] dt + \dots + \gamma(n) \sum_{\{0\} \in K, |K|=n} \int_{t_0}^T [\sum_{i \in K} (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t)))] + \\
& + \sum_{i \in M \setminus K} g_i(x(t), r_i(t)) - \sum_{i \in K} g_i(x(t), r_i(t))] dt + \gamma(n+1) [\sum_{i \in M} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))) dt + \\
& + \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T g_i(x(t), r_i(t)) dt] = \gamma(2) \sum_{\{0\} \in K, |K|=2} \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))) dt + \\
& + \gamma(3) \sum_{\{0\} \in K, |K|=3} \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))) dt + \dots + \\
& + \gamma(n) \sum_{\{0\} \in K, |K|=n} \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t))) dt + \gamma(n+1) \sum_{i \in N} \int_{t_0}^T (2g_i(x(t), u_i^*(t)) + \\
& + h_i(x(t), u_i^*(t))) dt = \sum_{s=2}^{n+1} \gamma(s) \sum_{\{0\} \in K, |K|=s} \sum_{i \in K} \int_{t_0}^T A_i(t) dt, A_i(t) = 2g_i(x(t), u_i^*(t)) + h_i(x(t), u_i^*(t)).
\end{aligned}$$

Поскольку каждый игрок нижнего уровня участвует  $C_{n-1}^{s-1}$  раз во множестве коалиций из  $s$  игроков, то

$$\Phi_0^v(x_0, T-t_0) = \sum_{s=2}^{n+1} \gamma(s) C_{n-1}^{s-2} \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T A_i(t) dt = 0.5 \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T A_i(t) dt.$$

Следовательно,

$$\Phi_0^v(x_0, T-t_0) = \sum_{i \in M} \int_{t_0}^T (g_i(x(t), u_i^*(t)) + 0.5h_i(x(t), u_i^*(t))) dt = 0.5v(N; x_0, T-t_0).$$

В силу Парето-оптимальности вектора Шепли получаем  $\sum_{i \in M} \Phi_i^v(x_0, T-t_0) = 0.5v(N; x_0, T-t_0) = \Phi_0^v(x_0, T-t_0)$

а в силу полной симметричности игроков

$$\Phi_i^v(x_0, T-t_0) = \int_{t_0}^T (g_i(x(t), u_i^*(t)) + 0.5h_i(x(t), u_i^*(t))) dt, i \in M.$$

Для завершения доказательства достаточно непосредственно проверить выполнение неравенств трех типов:

- 1)  $\sum_{i \in K} \Phi_0^v(x_0, T-t_0) + \sum_{j \in L} \Phi_j^v(x_0, T-t_0) \geq v(K \cup L; x_0, T-t_0);$
- 2)  $\Phi_0^v(x_0, T-t_0) + \sum_{i \in K} \Phi_i^v(x_0, T-t_0) \geq v(\{0\} \cup K; x_0, T-t_0);$

$$3) \Phi_0^v(x_0, T - t_0) + \sum_{i \in K} \Phi_i^v(x_0, T - t_0) + \sum_{j \in L} \Phi_j^v(x_0, T - t_0) \geq v(\{0\} \cup (K \cup L)),$$

$$K \cap L = \emptyset, K, L \subseteq M.$$

Аналогично строится кооперативная дифференциальная игра на основе побуждения. К сожалению, принцип оптимальности  $\Phi^v(x_0, T - t_0) \in C_v(x_0, T - t_0)$  не является динамически устойчивым. Чтобы обеспечить динамическую устойчивость, следует использовать процедуру регуляризации (процедуру распределения платежа) (Petrosyan and Zenkevich 2007). Определим

$$\Phi_i^v(x_0, T - t_0) = \int_{t_0}^T B_i(s) ds, B_i(t) \geq 0, \sum_{i \in N} B_i(t) = 1, t \in [t_0, T].$$

Величина  $B_i(t) = \frac{d\Phi_i^v(x_0, T - t_0)}{dt}$  есть мгновенный платеж игроку  $i$  в момент  $t$ . Вектор  $V(t) = (B_0(t), B_1(t), \dots, B_n(t))$  устанавливает распределение общего дохода между всеми игроками. Путем правильного выбора  $V(t)$  можно обеспечить, чтобы в каждый момент  $t \in [t_0, T]$  отсутствовали возражения против первоначального соглашения  $\Phi^v(x_0, T - t_0)$ , то есть дележ  $\Phi^v(x_0, T - t_0)$  был динамически устойчивым. При достаточно общих условиях доказано, что процедура регуляризации  $V(t), t \in [t_0, T]$ , ведущая к динамически устойчивому кооперативному решению, существует и реализуема (Petrosyan and Zenkevich 1996).



## **ГЛАВА 6. ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Создание систем управления устойчивым развитием организаций требует структуризации данных, описывающих состояние объектов управления, внешние и внутренние воздействия, нормативы и правила. Структуризация данных осуществляется с помощью информационного моделирования, позволяющего описывать данные и операции над ними и создавать на этой основе базы данных и корпоративные информационные системы, а также проводить идентификацию имитационных и иных математических моделей.

Общая теория информационного моделирования и проектирования баз данных развивается давно, что привело к выработке общепринятых понятий моделей данных и их элементов: объектов, отношений, операций, атрибутов и т.д. Имеется математический аппарат, удобный для описания не только текущего состояния организации, но и его изменения со временем: марковские процессы, конечные автоматы, сети Петри и другие модели. При этом в той или иной степени учитывается структура моделируемой системы. В монографии рассматриваются эти модели, а также авторская концепция динамических мультиорграфов, акцентирующая структурные аспекты.

Существуют также специальные методы информационного моделирования бизнес-процессов, ведущую роль среди которых играет нотация IDEF0. Эта нотация хорошо совместима с требованиями менеджмента качества и обычно рекомендуется для формализации описания процессов функционирования организаций.

Вместе с тем, нотация IDEF0 имеет ряд недостатков, затрудняющих ее использование для решения задач управления устойчивым развитием организаций. Поэтому предлагается методика перехода от описания бизнес-процессов организации в терминах IDEF0 к ее представлению как системы массового обслуживания, что создает более удобные возможности для моделирования и управления.

### **6.1. Понятие и средства информационного моделирования**

Информационное моделирование представляет собой раздел системного анализа, предметом которого являются данные и отношения между ними, а также операции над данными. По образному выражению М.Флэвина, «информационное моделирование – это брак

между искусством системного анализа и наукой представления данных» (Flavin 1981:1). Основным назначением информационных моделей является разработка баз данных, обеспечивающих компьютерное хранение и обработку необходимой информации о моделируемой системе.

Базы данных отображают состояние моделируемой системы в любой момент времени, описывая элементы системы (объекты, сущности), отношения между ними и операции над элементами. Описание операций содержит явный или неявный переход к динамике моделируемой системы, то есть отображению ее последовательных состояний с учетом внутренних и внешних воздействий. Для выявления существенных объектов, отношений и операций необходим анализ функционирования системы и тех основных закономерностей, которым оно подчиняется. Применительно к организациям можно говорить о «политике» или «регламентах» функционирования. В соответствии с общими принципами математического моделирования, логическое проектирование баз данных полностью определяется целями и возможностями проекта информационной системы, устанавливающими множество объектов, отношений и операций и уровень их детализации.

Информационное моделирование позволяет существенно повысить четкость и однозначность описаний предметной области, что создает достаточно надежную основу для последующего проектирования баз данных. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что полностью формализовать задачу построения информационной модели (иными словами, обеспечить возможность передачи ее решения компьютеру) невозможно.

Выделяются пять логических конструкций, входящих в состав информационной модели (Flavin 1981):

1) типы объектов – сущности, играющие некоторую специфическую роль в моделируемой системе. Типами объектов могут быть люди, вещи, документы, организации, соглашения, политики и т.п.;

2) отношения – именованные связи между двумя или более типами объектов. Они являются результатом взаимодействия или логического объединения соответствующих типов объектов, а их атрибутами служат имена всех типов объектов, участвующих в отношении;

3) операции – действия, изменяющие состояние моделируемой системы и тем самым обеспечивающие переход к описанию ее динамики. Различают стандартные операции (добавить/удалить, модифицировать/переписать и т.п.) и операции, определяемые пользователем (подписать контракт, назначить ответственного и т.п.);

4) элементы данных – отдельные факты (номер приказа, численность подразделения), характеризующие типы объектов или отношения;

5) предписания – правила, руководящие содержанием, структурой, целостностью и функционированием модели. Они относятся к модели в целом и обычно отражают управляющие ограничения высшего уровня.

Каждая из указанных логических компонент информационной модели описывается шестью показателями, характеризующимися далее.

1.Имя – уникальный идентификатор данной логической компоненты в рамках модели. Имя может состоять из нескольких слов (составное имя).

2.Определение – описание роли, которую играет в модели данная компонента. Применительно к организациям определения вытекают из бизнес-политики.

3.Содержание данных – набор элементов данных, описывающих тип объекта или отношение.

4.Структура данных – элементы данных, ассоциированные с некоторой компонентой, могут классифицироваться как однозначные или многозначные для этой компоненты. Однозначные элементы данных (имя, номер паспорта) группируются в базовый сегмент, а многозначные (фамилии подчиненных, обслуживаемые клиенты) – в один или более зависимых сегментов. Набор всех сегментов образует структуру данных компоненты.

5.Допустимые операции – все операции, которые могут быть выполнены с данной компонентой. Поскольку операции изменяют состояние модели, то каждая из них определяется набором пред- и постусловий. Первые должны быть удовлетворены перед выполнением операции, а вторые становятся истинными после ее выполнения. Поэтому в целом информационная модель сочетает элементы анализа в терминах модели «сущность-отношение» с элементами анализа в терминах «состояние-переход».

6.Зависимости данных – логические правила, определяющие связи между компонентами данных.

База данных представляет собой организованный набор фактов, логическую структуру которого определяет информационная модель. В базе данных хранятся экземпляры всех типов объектов, отношений и элементов данных. Можно сказать, что информационная модель включает в себя графические и аналитические спецификации компонент и базу данных (Flavin 1981).

Процесс информационного моделирования состоит из двух основ-

ных стадий: анализа и представления. Стадия анализа включает исследование предметной области, позволяющее идентифицировать типы объектов, отношения, операции и элементы данных, а также построить диаграммы «сущность-отношение», часть аналитических спецификаций и правил преобразования. Стадия представления посвящена созданию структур данных для каждой логической компоненты модели, завершению ее логической интеграции, а также спецификации зависимостей данных, пред- и постусловий и предписаний. Последовательные уровни модельной спецификации предметной области включают в себя:

- имя предметной области;
- диаграмму «сущность-отношение» для данной области;
- диаграмму «сущность-отношение» и полный набор требуемых элементов данных;
- полностью построенную информационную модель предметной области (то есть набор аналитических и графических спецификаций и базу данных).

Для завершения построения информационной модели необходимо недвусмысленно и последовательно определить все компоненты модели в контексте их смыслового значения в моделируемой реальной системе. Для этого требуется хорошее знакомство с реальной политикой организации, которая редко бывает изложенной в письменных руководствах и нуждается в «извлечении» из знаний соответствующих менеджеров и экспертов. Магистральной задачей системного аналитика при построении информационной модели является переход от нечетких и расплывчатых понятий реальной системы к хорошо определенным и недвусмысленным логическим компонентам, поддерживающим их интеграцию в рамках модели. Для этого используется ряд специальных методов: функциональный анализ, анализ сценариев, анализ транзакций, анализ абстракций, анализ «якорной точки» (Flavin 1981).

Традиционный подход к проектированию баз данных выделяет три уровня представления: концептуальный (с позиций администрации предприятия), логический (с позиций прикладного программиста и конечного пользователя) и физический (с позиций системного аналитика и системного программиста). На концептуальном уровне выделяют сущности, связи между ними и атрибуты сущностей и связей, как было указано выше; на логическом уровне используется одна из моделей данных (обычно сетевая, иерархическая или реляционная); на физическом уровне определяются физические блоки, хранимые записи, указатели, данные переполнения и промежутки между

блоками (Тиори и Фрай 1985).

Существует ряд математических моделей, позволяющих описывать состояние сложных систем, в том числе с явным или неявным учетом его динамики. Рассмотрим примеры таких моделей: марковские цепи (процессы), конечные автоматы, сети Петри, динамические мультиорграфы. Еще одна важная модель – системы массового обслуживания – рассматривается в параграфе 6.3.

Цепь Маркова (марковская цепь) представляет собой частный случай стохастического процесса, под которым понимают следующее. Пусть имеется множество исходов (состояний), в которых находится моделируемая система в моменты времени  $t, t+1, \dots$ . Предполагается, что если известны исходы в моменты времени  $0, 1, \dots, t$ , то можно предсказать исход в момент  $t+1$  с определенной вероятностью.

Марковские цепи выделяются из множества стохастических процессов следующими тремя свойствами.

1. Множество состояний  $\{u_1, \dots, u_n\}$  конечно.

2. Вероятность нахождения системы в состоянии  $u_j$  в момент времени  $t+1$  зависит только от состояния  $u_i$ , в котором система находилась в момент  $t$ . Как говорят, марковские цепи имеют память длиной в один шаг.

3. Указанная в пункте 2 зависимость одна и та же для всех  $t$ .

Основной характеристикой марковской цепи является матрица переходов (переходная матрица)  $P = \| p_{ij} \|$ , где  $p_{ij}$  – вероятность перехода системы из состояния  $u_i$  в состояние  $u_j$  за один шаг. Очевидно, выполняются условия  $p_{ij} \geq 0$ ,  $\sum_j p_{ij} = 1$ ,  $i=1, \dots, n$ . Итак, строки переходной матрицы состоят из неотрицательных чисел, сумма которых равна 1. Такие векторы называются вероятностными (стохастическими), а состоящие из них матрицы – также вероятностными (стохастическими).

Удобно сопоставлять марковской цепи ориентированный граф  $D=(V,P)$ , вершины которого суть состояния марковской цепи, а веса дуг определяются ее переходной матрицей. Иногда удобно использовать образующий орграф  $D=(V,A)$ , в котором дуга  $(u_i, u_j)$  проводится тогда и только тогда, когда  $p_{ij} > 0$  (веса при этом не учитываются).

Рассмотрим в качестве примера (разумеется, не для подражания) модель известной игры «русская рулетка», в которой игрок вставляет в шестизарядный револьвер один патрон, проворачивает барабан и стреляет себе в голову. Переходная матрица возникающей при этом марковской цепи и соответствующий орграф изображены на рис.6.1.1.

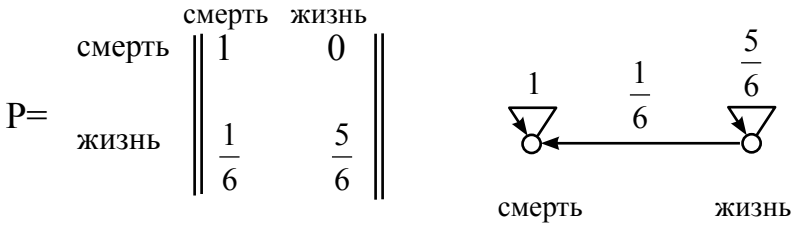


Рис. 6.1.1. Переходная матрица и орграф для игры в русскую рулетку

Будем говорить, что множество  $S$  состояний цепи Маркова замкнуто (в вероятностном смысле), если для любого состояния  $u_i \in S$  и любого состояния  $u_j \in V \setminus S$  имеет место  $p_{ij} = 0$ . Множество состояний  $E$  называется эргодическим, если оно замкнуто и никакое его подмножество не замкнуто. Эргодические множества удобно описывать с помощью орграфов. Пусть на рис.6.1.2 изображен образующий орграф для некоторой цепи Маркова (Робертс 1986).

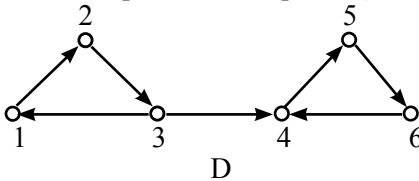


Рис. 6.1.2. Образующий орграф цепи Маркова

Очевидно, эргодическое множество орграфа  $D$  есть  $E = \{4, 5, 6\}$ . Все множества  $D$ , отличные от эргодических, называются неустойчивыми (переходными) множествами. В частности, на рис.6.1.2  $\{1, 2, 3\}$  есть переходное множество. Таким образом, любое состояние цепи Маркова является либо эргодическим, либо переходным. В теории цепей Маркова доказывается, что при  $t \rightarrow \infty$  система обязательно переходит в эргодическое множество (и остается в нем). Таким образом, основной интерес представляет изучение именно эргодических множеств.

Если все множество состояний цепи Маркова есть эргодическое множество, то цепь называется эргодической. Очевидно, цепь Маркова эргодическая тогда и только тогда, когда ее образующий орграф сильно связан. Если из любого состояния эргодической цепи можно перейти в любое другое состояние ровно за  $k$  шагов, то цепь Маркова называется регулярной. Не всякая эргодическая цепь является регулярной. Например, контур длины 2 – эргодическая цепь, но из каждой вершины можно перейти в нее саму только за четное число

шагов, а в другую вершину – только за нечетное, поэтому такая цепь не будет регулярной. Удобное достаточное условие регулярности эргодической цепи – наличие хотя бы одной петли в образующем орграфе (или соответственно хотя бы одного ненулевого диагонального элемента переходной матрицы). Справедлива следующая

*Теорема 6.1.1* (Робертс 1986).

Пусть  $P$  – переходная матрица регулярной цепи Маркова. Тогда:

1) при  $t \rightarrow \infty$  матрица  $P^t$  стремится к стохастической матрице  $W$ , состоящей из одинаковых стохастических векторов-строк  $w$  с положительными компонентами;

2)  $w$  – единственный стохастический вектор, обладающий свойством  $wP = w$  (стационарный вектор).

Второй пункт теоремы 6.1.1 указывает способ нахождения вектора  $w$  (а тем самым и предельной матрицы  $W$ ). Векторное уравнение  $wP = w$  в координатной форме имеет вид

$$wP_i = w_i, \quad (6.1.1)$$

где  $P_i$  -  $i$ -й столбец матрицы  $W$ . Если дополнить эту систему условием для стохастического вектора

$$w_1 + \dots + w_n = 1, \quad (6.1.2)$$

то уравнения (6.1.1) и (6.1.2) имеют единственное решение.

Перейдем к описанию конечных автоматов. Будем понимать под алфавитом конечное множество объектов, называемых буквами. Под буквами можно понимать объекты любой природы: обычные буквы алфавитов естественных языков, цифры, знаки, рисунки, слова, предложения и т.д. Словом в данном алфавите называется конечная упорядоченная последовательность букв. Например, в алфавите (а,б) словами будут аб, аба, аабб и т.д. Длина слова определяется числом содержащихся в нем букв. Используется пустое слово  $\emptyset$ , не содержащее ни одной буквы.

Алфавитным оператором называется отображение, сопоставляющее словам данного алфавита слова того же самого или некоторого другого алфавита. В последнем случае различают входной и выходной алфавиты оператора и соответственно входные и выходные слова. Алфавитный оператор является однозначным, если он каждому входному слову сопоставляет не более одного выходного. Если некоторому входному слову оператор не сопоставляет никакого выходного слова, то он не определен на этом слове. Совокупность всех слов, на которых алфавитный оператор определен, называется его областью определения. Два алфавитных оператора считаются равными, если они имеют одну и ту же область определения и соотносят лю-

бому слову из этой области одни и те же выходные слова. Алфавитный оператор может быть задан таблицей соответствия, которая для каждого входного слова содержит определенное слово или правило, посредством которого каждому входному слову сопоставляется выходное.

Алфавитные операторы, задаваемые конечными системами правил, позволяющих за конечное число шагов для любого входного слова из области определения найти соответствующее выходное слово, называются алгоритмами. Два алгоритма считаются равными, если равны реализуемые ими алфавитные операторы, а также совпадают системы правил. Алгоритмы, у которых совпадают только реализуемые операторы, но не совпадают способы задания, называются эквивалентными. Практическая важность алфавитных операторов определяется тем, что при весьма общих условиях любой реальный преобразователь информации может рассматриваться как прибор, реализующий некоторый алфавитный оператор.

При определении конечного автомата вначале задается множество моментов времени  $t_0 < t_1 < t_2 < \dots$ , в каждый из которых конечный автомат находится в некотором состоянии. Состояние автомата в момент  $t_n$  обозначается  $z(t_n)$  или просто  $z(n)$ . Множество всех состояний автомата обозначим через  $Z$ . Предполагается, что это множество конечно, что и определяет название модели. В каждый момент  $t_i$  автоматного времени, начиная с  $t_1$ , на вход автомата поступает в качестве входного сигнала одна из букв  $x$  входного алфавита  $X$ , т.е.  $x \in X$ . Конечные упорядоченные последовательности входных сигналов  $(x(1), x(2), \dots, x(n))$  называются входными словами.

На поступление входных сигналов автомат реагирует следующим образом. Во-первых, внутреннее состояние автомата изменяется в соответствии с функцией переходов (в новое состояние)  $z(t) = \varphi(z(t-1), x(t))$ .

Во-вторых, в каждый момент автоматного времени на выходе автомата появляется выходной сигнал  $y$  согласно функции выходов  $y(t) = \psi(z(t-1), x(t))$ . У автомата Мура (в отличие от описанного выше автомата Мили) функция выходов имеет другой вид:  $y(t) = \psi(z(t), x(t))$ .

Любое допустимое входное слово вызывает появление на выходе автомата выходного слова такой же длины. Получаемое таким образом соответствие между допустимыми входными и выходными словами называется отображением, индуцируемым данным автоматом. Это отображение удовлетворяет следующим условиям: 1) любому входному слову  $l_{\text{вх}}$  ставится в соответствие выходное слово  $l_{\text{вых}} = F(l_{\text{вх}})$  той же длины; 2) если  $l_1$  — начальный отрезок слова  $l_{\text{вх}}$ , то слово  $F(l_1)$



является начальным отрезком слова  $I_{\text{вых}} = F(I_{\text{вх}})$ . Эти условия называются «условиями автоматности» отображения (оператора). Всякое отображение, удовлетворяющее данным условиям, называется автоматным отображением. Любое автоматное отображение может быть индуцировано некоторым автоматом (не обязательно конечным). Автоматы могут задаваться таблицами переходов и выходов, а также ориентированными графами (Бусленко и др. 1973).

Сети Петри используются для моделирования сложных систем, в особенности содержащих взаимодействующие параллельные компоненты. Сеть Петри есть четверка  $C=(P,T,I,O)$ , где  $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – конечное множество позиций,  $n \geq 0$ ;  $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  – конечное множество переходов,  $m \geq 0$ ,  $P \cap T = \emptyset$ ;  $I: T \rightarrow P^\infty$  – входная функция, отображающая множество переходов в множество комплектов позиций;  $O: T \rightarrow P^\infty$  – выходная функция.

Позиция  $p_i$  является входной позицией перехода  $t_j$ , если  $p_i \in I(t_j)$ , и выходной позицией, если  $p_i \in O(t_j)$ . Входы и выходы переходов представляют собой комплекты позиций, то есть обобщенные множества, в которых допускаются повторения элементов (Питерсон 1984). Использование комплектов вместо множеств входа и выхода позволяет позиции быть кратным входом либо выходом перехода. Кратность входной позиции  $p_i$  для перехода  $t_j$  есть число появлений позиции во входном комплекте перехода  $\#(p_i, I(t_j))$ . Аналогично кратность выходной позиции  $p_i$  для перехода  $t_j$  есть число появлений позиции в выходном комплекте перехода  $\#(p_i, O(t_j))$ . Если области значений входной и выходной функции являются множествами, а не комплектами, то кратность каждой позиции равна нулю либо единице. Переход  $t_j$  является входом позиции  $p_i$ , если  $t_j$  есть выход  $p_i$ . Переход  $t_j$  есть выход позиции  $p_i$ , если  $t_j$  есть вход  $p_i$ . Пример сети Петри показан на рис.6.1.3.

$$\begin{aligned} C &= (P, T, I, O); P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}; T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}; \\ I(t_1) &= \{p_1\}; I(t_2) = \{p_2, p_3, p_5\}; I(t_3) = \{p_3\}; I(t_4) = \{p_4\}; \\ O(t_1) &= \{p_2, p_3, p_5\}; O(t_2) = \{p_5\}; O(t_3) = \{p_4\}; O(t_4) = \{p_2, p_3\} \end{aligned}$$

Рис.6.1.3. Пример сети Петри

Определим расширенные входную и выходную функции  $I: P \rightarrow T^\infty$ ,

$O: P \rightarrow T^\infty$  таким образом, что  $\#(t_j, I(p_i)) = \#(p_i, O(t_j))$ ,  $\#(t_j, O(p_i)) = \#(p_i, I(t_j))$ . Для сети Петри на рис. 6.1.3 расширенные входная и выходная функции имеют вид

$$\begin{array}{ll} I(p_1) = \{\}, & O(p_1) = \{t_1\}, \\ I(p_2) = \{t_1, t_4\}, & O(p_2) = \{t_2\}, \\ I(p_3) = \{t_1, t_4\}, & O(p_3) = \{t_2, t_3\}, \\ I(p_4) = \{t_3\}, & O(p_4) = \{t_4\}, \\ I(p_5) = \{t_1, t_2\}, & O(p_5) = \{t_2\}. \end{array}$$

Сеть Петри можно представить также с помощью двудольного ориентированного мультиграфа (Питерсон 1984).

Маркировкой сети Петри называют присвоение фишек ее позициям. Количество и положение фишек при выполнении сети Петри могут изменяться, что позволяет описывать ее динамику. Формально, маркировка сети Петри  $S=(P, T, I, O)$  есть функция  $\mu: P \rightarrow N$ , где  $N$  – множество натуральных чисел. Тогда количество фишек в позиции  $p_i$  есть  $\mu_i = \mu(p_i)$ . Маркированная сеть Петри может быть записана в виде  $M=(P, T, I, O, \mu)$ . Множество всех маркировок сети Петри с  $n$  позициями есть счетное множество всех  $n$ -векторов.

Количество и распределение фишек в сети Петри управляют ее выполнением. Сеть Петри выполняется посредством запуска переходов. Переход может запускаться, только если он разрешен, то есть каждая из входных дуг имеет число фишек, не меньшее числа дуг из каждой входной позиции в переход:  $\forall p_i \in P \mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j))$ .

Переход запускается удалением всех разрешающих фишек из его выходных позиций и последующим помещением в каждую из его выходных позиций по одной фишке для каждой дуги. Для кратных выходных дуг создаются кратные фишки. Может быть запущен только разрешенный переход, поэтому при запуске перехода количество фишек в каждой позиции всегда остается неотрицательным. Таким образом, в результате запуска разрешенного перехода  $t_j$  в сети Петри с маркировкой  $\mu$  образуется новая маркировка  $\mu'$  по правилу:  $\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j))$ . Когда не остается ни одного разрешенного перехода, выполнение прекращается.

Состояние сети Петри определяется ее маркировкой и изменяется в результате запусков переходов. Пространство всех состояний для

сети Петри с  $n$  позициями есть  $N^n$ . Изменение состояния, вызванное запуском перехода, определяется функцией следующего состояния  $\delta$ . Функция следующего состояния  $\delta : N^n \times T \rightarrow N^n$  для сети Петри  $C=(P,T,I,O)$  с маркировкой  $\mu$  и переходом  $t_j \in T$  определена тогда и только тогда, когда  $\forall p_i \in P \mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j))$ . В этом случае  $\delta(\mu, t_j) = \mu'$ , где  $\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j))$ .

Пусть дана сеть Петри  $C=(P,T,I,O)$  с начальной маркировкой  $\mu^0$ . Эта сеть может быть выполнена последовательным запуском переходов. Запуск разрешенного перехода  $t_j$  в начальной маркировке  $\mu^0$  порождает новую маркировку  $\mu^1 = \delta(\mu^0, t_j)$ . В этой новой маркировке можно запустить любой другой разрешенный переход  $t_k$ , порождая новую маркировку  $\mu^2 = \delta(\mu^1, t_k)$ , и т.д. Этот процесс продолжается до тех пор, пока в маркировке существует хотя бы один разрешенный переход. Если получена маркировка, в которой ни один переход не разрешен, то выполнение сети заканчивается.

Таким образом, при выполнении сети Петри возникают две последовательности: последовательность маркировок  $(\mu^0, \mu^1, \mu^2, \dots)$  и последовательность переходов  $(t_{j_0}, t_{j_1}, t_{j_2}, \dots)$ , которые были запущены. Они связаны соотношением  $\mu^{k+1} = (\mu^k, t_{j_k})$ ,  $k=0, 1, 2, \dots$

Сети Петри активно используются для моделирования различных реальных систем, особенно связанных с параллельными действиями, при этом анализируются задачи безопасности, ограниченности, сохранения, активности, достижимости и ряд других (Питерсон 1984).

Описание состояния сложной системы в момент  $t$  с учетом ее структуры посредством динамических мультиорграфов (Угольницкий 1996) включает следующие элементы.

1. Множество вершин  $Y(t) = (y_1(t), \dots, y_n(t))$ , где  $n(t)$  - количество вершин в момент  $t$ . Разобьем множество  $Y(t)$  на два непересекающихся подмножества:  $\forall t Y(t) = Y_1(t) \cup Y_2(t)$ ,  $Y_1(t) \cap Y_2(t) = \emptyset$  (в частности, возможно  $Y_2(t) = \emptyset$ ). Будем называть вершины из  $Y_1(t)$  компартаментами и обозначать квадратами, а вершины из  $Y_2(t)$  - преобразователями и обозначать кругами.

2. Множество дуг  $Z(t) = \{z_{ij}^k(t)\}$ ,  $1 \leq i, j \leq n(t)$ ,  $1 \leq k \leq N$ , где  $z_{ij}^k(t)$  - дуга из вершины  $y_i$  в вершину  $y_j$  (в частности, петля при  $i=j$ ), по которой может перемещаться ресурс  $k$  в момент  $t$ ;  $N$  - общее число ресурсов в системе.

3. Множество переменных состояния компартментов

$X(t) = \{x_i^k(t)\}$ ,  $1 \leq i \leq n(t)$ ,  $1 \leq k \leq N$ , где  $x_i^k(t)$  - количество ресурса  $k$  в компартменте  $y_i \in Y_1$  в момент  $t$ . Тогда  $x_i(t)$  - вектор состояния компартмента  $y_i$  в момент  $t$  (набор всех его ресурсов).

4. Множество переменных состояния дуг

$F(t) = \{f_{ij}^k(t)\}$ ,  $1 \leq i, j \leq n(t)$ ,  $1 \leq k \leq N$ , где  $f_{ij}^k(t)$  - вес дуги  $z_{ij}^k(t)$ , т.е. либо количество ресурса  $k$ , переносимое за время  $[t, t+1]$  из вершины  $y_i$  в вершину  $y_j$ ,  $i \neq j$ , либо величина прироста (убыли) ресурса  $k$  в компартменте  $y_i$  за то же время,  $i=j$  (шаг по времени равен единице). В каждой рассматриваемой ситуации (задаче) множество  $F(t)$  можно разбить на два непересекающихся подмножества:  $\forall t F(t) = F_1(t) \cup F_2(t)$ ,  $F_1(t) \cap F_2(t) = \emptyset$  (в частности, возможно  $F_2(t) = \emptyset$ ). Переменные из множества  $F_1(t)$  будем называть регулируруемыми (они изменяются в силу заданных соотношений), а переменные из  $F_2(t)$  - регулирующими или просто регуляторами (они могут изменяться произвольно на допустимом множестве).

5. Множество ограничений на емкость компартментов

$\underline{X} = \{x_i^k\}$ ,  $1 \leq i \leq n(t)$ ,  $1 \leq k \leq N$ , где  $x_i^k$  - максимальное количество ресурса  $k$ , которое может содержаться в компартменте  $y_i$ .

6. Множество ограничений на пропускную способность дуг

$\underline{F} = \{f_{ij}^k\}$ ,  $1 \leq i, j \leq n(t)$ ,  $1 \leq k \leq N$ , где  $f_{ij}^k$  - максимальное количество ресурса  $k$ , которое может быть перемещено из вершины  $y_i$  в вершину  $y_j$ ,  $i \neq j$ , или произведено (уничтожено) в компартменте  $y_i$ ,  $i=j$ , за единицу времени. Таким образом, обобщенное состояние сложной системы есть множество

$$S(t) = \langle Y(t), Z(t), X(t), F(t), \underline{X}, \underline{F} \rangle.$$

Чтобы избежать рассмотрения оргграфов с кратными дугами, будем сопоставлять каждой вершине  $y_i \in Y$  единственный вес  $x_i(t)$ , а каждой дуге  $z_{ij} \in Z$  - единственный вес  $a_{ij}(t)$ . Тогда динамическая структура системы состоит из отдельных "скалярных" структур, каждая из которых отображает определенный аспект вещественно-энергетических взаимодействий в системе.

Разбиение множества вершин динамического оргграфа на две части позволяет описать основные вещественно-энергетические процессы в реальных системах (Новосельцев 1978): 1) перемещение (перенос, обмен) ресурсов между компартментами; 2) синтез/элиминация ресурсов в компартментах; 3) превращение (преобразование) ресурсов. Отообразим эти процессы с помощью динамических оргграфов.

1. Перемещение ресурса  $k$  между двумя компартментами  $y_i$  и  $y_j$  в момент  $t$  может происходить при наличии дуги  $z_{ij}^k(t)$  (рис.6.1.4).

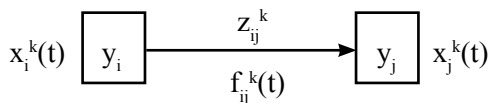


Рис.6.1.4. Перемещение ресурса  $k$  между компартментами  $y_i$  и  $y_j$

Пусть в момент  $t$  запасы ресурса  $k$  в компартментах  $y_i$  и  $y_j$  равны  $x_i^k(t)$  и  $x_j^k(t)$  соответственно, а переменная состояния дуги  $z_{ij}^k(t)$  есть  $f_{ij}^k(t)$ . Тогда

$$x_i^k(t+1) = x_i^k(t) - f_{ij}^k(t), x_j^k(t+1) = x_j^k(t) + f_{ij}^k(t). \quad (6.1.3)$$

2. Синтез/элиминация ресурса  $k$  в компартменте  $y_i$  в момент  $t$  возможны при наличии петли  $z_{ii}^k(t)$  (рис.6.1.5).

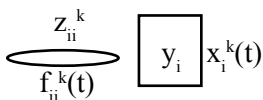


Рис.6.1.5. Синтез/элиминация ресурса  $k$  в компартменте  $y_i$

Случай  $f_{ii}^k(t) > 0$  соответствует синтезу, а  $f_{ii}^k(t) < 0$  - элиминации ресурса  $k$ . В результате получаем

$$x_i^k(t+1) = x_i^k(t) + f_{ii}^k(t). \quad (6.1.4)$$

3. Превращение одних ресурсов в другие возможно при наличии вершины-преобразователя из множества  $Y_2$ . Это наиболее сложный класс процессов, содержащий разнообразные подклассы, которые можно группировать различным образом, например:

- а) простое превращение (ресурса  $k$  в ресурс  $l$ );
- б) сложное превращение (одного ресурса в несколько, нескольких в один или нескольких в несколько); или

А) единичное превращение (внутри одного компартмента);

Б) бинарное превращение (между двумя компартментами);

В) множественное превращение (между несколькими компартмен-

тами). Рассмотрим в качестве примера случай бБ. Пусть начальные запасы ресурсов  $x_i^k(t)$ ,  $x_i^l(t)$ ,  $x_j^l(t)$ . Превращение удовлетворяет соотношению

$$x_i^k(t+1) = x_i^k(t) - f_{ip}^k(t), \quad (6.1.5)$$

$$x_i^l(t+1) = x_i^l(t) - f_{ip}^l(t), x_j^l(t+1) = x_j^l(t) + f_{pj}^l(t),$$

где  $y_i, y_j$  - компартменты,  $y_p$  - преобразователь. Рассмотрим в качестве более подробного примера хорошо известную модель «хищник-жертва»

$$\frac{dx_1}{dt} = \varepsilon_1 x_1 - \gamma_1 x_1 x_2, \quad \frac{dx_2}{dt} = -\varepsilon_2 x_2 + \gamma_2 x_1 x_2, \quad (6.1.6)$$

где  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  - биомассы популяций жертвы и хищника соответственно в момент  $t$ ;  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  - коэффициенты естественного прироста популяций;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  - коэффициенты взаимодействия жертвы и хищника. Представление модели (6.1.6) с помощью динамического орграфа показано на рис. 6.1.6.

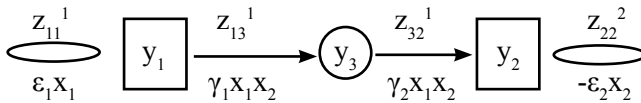


Рис. 6.1.6. Представление модели «хищник-жертва» с помощью динамического иерархического орграфа

Здесь петли  $z_{11}^1$  и  $z_{22}^2$  описывают прирост (синтез) биомассы жертв (ресурса 1) и убыль (элиминацию) биомассы хищников (ресурса 2) в компартментах  $y_1$  и  $y_2$  соответственно, а преобразование  $y_3$  - простое бинарное превращение биомассы жертв в биомассу хищников. В общем случае естественная динамика ресурсов системы отображается балансовым уравнением для каждого компартмента и каждого ресурса:

$$x_j^k(t+1) = x_j^k(t) + \sum_{y_l \in S_j^+(t)} f_{ij}^k(t) - \sum_{y_l \in S_j^-(t)} f_{jl}^k(t), \quad (6.1.7)$$

$$1 \leq i, j, l \leq n(t), 1 \leq k \leq N,$$

Соотношение (6.1.7), дополненное начальными данными, представляет собой имитационную модель, описывающую динамику системы с учетом ее структуры. Уравнение (6.1.7) учитывает как пассивную регуляцию системы (за счет изменения  $f_{jl}^k, f_{mj}^k \in F_1$  в силу заданных соотношений), так и активную (за счет выбора  $f_{jp}^k, f_{qj}^k \in F_2$ ). Активная регуляция может дополнительно изменять множества  $Y$  и  $Z$ . Изменения множеств  $X$  и  $F$  естественно назвать ресурсными, а изменения множеств  $Y$  и  $Z$  - структурными. Совокупность ресурсных и структурных изменений определяет динамику системы  $S$ .

Обобщенное состояние системы  $S(t)$  изменяется также при внешних воздействиях. Внешнюю среду системы можно представить вершиной  $y_0$  с вектором состояния  $x_0(t) = (x_0^1(t), \dots, x_0^N(t))$ . Соответственно множество дуг  $Z(t)$  дополняется элементами вида  $z_{0i}^k(t), z_{i0}^k(t)$ , а множество переменных состояния дуг  $F(t)$  - элементами  $f_{0i}^k(t), f_{i0}^k(t)$ ,  $1 \leq i \leq n(t)$ ,  $1 \leq k \leq N$ . Влияние внешней среды на систему учитывается в (6.1.5) без потери общности при условии, что  $y_0$  может входить в множества  $S_j^+, S_j^-$ . Кроме того, внешнее воздействие может изменять множества  $Y(t), Z(t)$ . При наличии нескольких источников воздействия приходится вводить несколько внешних вершин  $y_{01}, \dots, y_{0M}$ , соответствующих дуг и переменных состояния.

Рассмотрим в качестве примера модель «хищник-жертва» с учетом антропогенного воздействия (эксплуатации)

$$\frac{dx_1}{dt} = \varepsilon_1 x_1 - \gamma_1 x_1 x_2 - \alpha \lambda x_1, \quad \frac{dx_2}{dt} = -\varepsilon_2 x_2 + \gamma_2 x_1 x_2 - \beta \lambda x_2, \quad (6.1.8)$$

где по сравнению с моделью (6.1.6) добавлены характеристики антропогенной эксплуатации сообщества: интенсивность  $\lambda$  и способы  $\alpha, \beta$ . Представление модели (6.1.8) с помощью динамического иерархического орграфа дано на рис. 6.1.7. По сравнению с рис. 6.1.6 здесь к компартаментам  $y_1$  («жертвы») и  $y_2$  («хищники») добавлен компартимент  $y_0$ , отображающий внешнюю среду сообщества (источник эксплуатации), и дуги  $z_{10}^1, z_{20}^2$  с переменными состояния  $\alpha \lambda x_1, \beta \lambda x_2$ .

Кроме соотношения (6.1.7), возможны и другие правила изменения значений вершин (Робертс 1986).

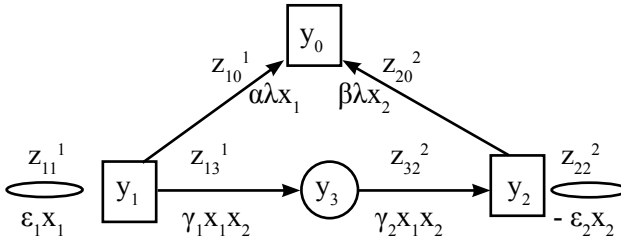


Рис. 6.1.7. Моделирование эксплуатации в системе «хищник-жертва» с помощью динамического оргграфа

Вернемся к модели организации как управляемой динамической системы

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x(t), u(t), \xi(t)),$$

где  $x(t)$  – вектор состояния (фазовый вектор),  $u(t)$  – вектор управляющих воздействий,  $\xi(t)$  – вектор внешних воздействий в момент времени  $t$ , целью управления является перевод системы из начального состояния  $x(0)=x_0$  в конечное состояние  $x(T)=x_1$ . Информационное моделирование позволяет выявлять, хранить и обрабатывать значения векторов  $x$ ,  $u$ ,  $\xi$ , а также параметры функции преобразования  $f$  на всем отрезке  $t=0, 1, \dots, T$ . Описанные модели системной динамики предоставляют аппарат описания и анализа изменения состояния организации для различных функций преобразования  $f$ .

## 6.2. Информационное моделирование бизнес-процессов

Самой распространенной предметной областью при информационном моделировании являются бизнес-процессы. Рассмотрим основные методы и модели информационного моделирования бизнес-процессов, следуя работе (Тихонов 2009).

В литературе существуют различные определения бизнес-процесса.

Havey (2005) предлагает простое определение бизнес-процесса как «набора пошаговых правил решения бизнес-задачи». В большинстве упоминаний бизнес-процессов цитируются два основных определения. Первое было предложено Hammer and Champy (1993),



которые определяют бизнес-процесс как «набор действий, имеющий один или несколько типов входов и создающий выход, имеющий ценность для заказчика», а второе – Davenport (1993), который утверждает, что «бизнес-процесс - это заданная последовательность действий, конечная цель которой – производство определенного выхода для конкретного заказчика или рынка». Согласно ему, процесс – это «упорядочение действий и работ во времени и пространстве, имеющее начало, конец, а также четко заданные входы и выходы».

Ferrie (1995) определяет процесс как “поддающийся определению набор действий, начинающийся в известной начальной точке”. Согласно Omrani (1992), процесс является «циклом действий, которые в совокупности позволяют достичь определенной цели». Pall (1987) определил процесс как «логическую организацию людей, материалов, энергии, оборудования и процедур в работы и действия, предназначенные для создания определенного конечного результата (продукта)». Earl (1994) дал определение процесса как «горизонтальной формы, которая инкапсулирует взаимосвязи задач, ролей, человеческих ресурсов и функций, необходимых для того, чтобы обеспечить заказчика определенным продуктом или услугой». Определение Saxena (1996) гласит, что процесс - это «набор взаимосвязанных действий, характеризующихся определенными входами и работами, создающими добавленную стоимость, который производит определенный выход», а Talwar (1993) определяет процесс как «любую последовательность предопределенных действий, выполняемых для достижения предопределенного диапазона выходных продуктов».

Приведенные определения бизнес-процессов показывают, что среди авторов нет полного согласия по этому поводу. Однако в большинстве приведенных определений можно выделить некоторые общие элементы, относящиеся к самому процессу (обычно описываемому как преобразование некоторого входа, набор действий, технология), его входу и его выходу (обычно относящемуся к достижению определенной цели или продукта для клиента) (Paul et al. 1998).

Таким образом, бизнес-процесс можно охарактеризовать следующими элементами: набором входов; преобразованием этих входов в выходы, определяемые целью осуществления процесса; механизмом осуществления процесса; управляющими воздействиями. В дальнейшем будет использоваться именно такая трактовка бизнес-процессов.

Реинжиниринг бизнес-процессов включает изменения в организации человеческих ресурсов, процессах и технологиях с течением времени. Взаимодействие человеческих ресурсов с процессами и

технологиями может осуществляться по бесконечно большому числу сценариев и генерировать бесконечно много выходов, которые невозможно предсказать и оценить, используя популярные методы моделирования процессов (Hupic and Robinson 1998).

Моделирование бизнес-процессов играет важную роль в их восприятии и понимании. Существует множество методов моделирования, основанных на подходах, направленных на различные аспекты бизнес-процессов, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Концептуальную основу представления и классификации методов моделирования бизнес-процессов заложили Kettinger et al. (2004) и Melao and Pidd (2000).

Согласно Agilar-Saven (2004), моделирование бизнес-процессов может осуществляться в следующих целях:

1) описание процессов для их изучения. Модель процессов должна представлять структуру и бизнес-процессы организации в унифицированном виде. Задачами подобного представления могут быть обучение и инструктаж сотрудников, составление отчетов для руководства и аудита, построение общей картины бизнес-процессов в организации для их последующего анализа в рамках реинжиниринга и т.п.;

2) поддержка принятия решений при разработке и конструировании процессов. Модель бизнес-процессов является основным источником информации для их анализа, валидации и верификации. Она также является средством фиксации вносимых изменений, прежде чем они найдут отражение в системе нормативной документации. Следует отметить, что модель процессов является основным средством оценки различных вариантов структуры системы и инструментом, с помощью которого эти варианты разрабатываются;

3) поддержка принятия решений при осуществлении бизнес-процессов: с помощью различных моделей осуществляется выработка и анализ управленческих решений, оценка оптимальности и выработка различных сценариев использования ресурсов, контроль качества и выработка упреждающих или корректирующих воздействий на систему с целью поддержания ее в желаемом состоянии, соответствующем поставленным целям;

4) поддержка внедрения информационных технологий. На основании модели бизнес-процессов осуществляется разработка систем автоматизации отдельных сторон деятельности предприятия, структуры взаимодействия программного обеспечения, моделей баз данных и средств сбора и аналитической обработки информации.

Существует множество точек зрения на природу и сущность

бизнес-процессов, определяемых, прежде всего, целями, которые ставит исследователь при их моделировании и анализе. Поскольку цели эти могут быть весьма различными, то и моделей за последние три десятилетия было разработано большое количество, причем исследования велись по большей части независимо и с использованием различных инструментов. Все это обусловило широкое разнообразие методов моделирования и анализа бизнес-процессов. Приведем обзор основных методов, используемых в настоящее время. Vergidis et al. (2008) разделяют методы моделирования бизнес-процессов на три типа: диаграммные модели, математические модели и языки моделирования бизнес-процессов. Первый тип включает модели, которые иллюстрируют процессы с использованием графических диаграмм. Второй тип соответствует моделям, имеющим математическое или иное формальное основание. Наконец, третий тип (т.е. языки бизнес-процессов) содержит искусственные языки, поддерживающие моделирование бизнес-процессов и почти всегда – выполнение последних. Табл. 6.2.1 иллюстрирует классификацию и приводит список источников по каждой из ключевых технологий.

Таблица 6.2.1

**Классификация методов моделирования  
бизнес-процессов (Тихонов 2009)**

Методы моделирования	Тип моделей	Основные работы
Диаграммы	Диаграммные модели	Knuth (1963), Chapin (1971)
IDEF	Диаграммные модели	Mayer et al. (1994), Menzel and Mayer (1998), Peters and Peters (1997), Zakarian (2001), Badica et al. (2003), Shimizu and Sahara (2000), Chou and Chen (2002)
Диаграммы ролевой активности (RAD)	Диаграммные модели	Ould (1995), Phalp and Shepperd (2000), Badica et al. (2003)

Унифицированный язык моделирования (UML)	Диаграммные модели Языки моделирования бизнес-процессов	Quatrani (2001), Wohed et al. (2004)
Сети Петри	Диаграммные модели Формальные и математические модели	Aalst (1998), Li et al. (2004), Donatelli et al. (1995), Raposo (2000), Peters and Peters (1997)
Модели бизнес-процессов, основанные на математических и алгоритмических моделях	Формальные и математические модели	Hofacker and Vetschera (2001), Powell et al. (2001), Valiris and Gykas (1999)
BPEL BPMN	Языки моделирования бизнес-процессов	Havey (2005), Grigori et al. (2004)
jPDL (jBPM)	Диаграммные модели Языки моделирования бизнес-процессов	Koenig (2004)

Первыми методами, использованными для моделирования бизнес-процессов, были простые графические представления (т.е. потоковые диаграммы), изначально разработанные для спецификации программного обеспечения. Эти простые диаграммы изображали бизнес-процесс, но в большинстве случаев без использования стандартных обозначений (Havey 2005). Эти технологии полезны для быстрого неформализованного описания процессов, но им недостает семантики, необходимой для задания более сложных и стандартизированных конструкций. Стандарты, основанные на диаграммных моделях, достаточно просты в использовании, что вызвало их широкое распространение. Однако некоторыми авторами высказывалась

критика в их адрес. Основным аргументом служит то, что эти модели основаны только на графическом представлении и потому им недостает формальности. В них также не представлена количественная информация, что затрудняет последующий анализ и разработку аналитических методов и моделей; у них нет и формальной основы для проверки логичности (Valiris and Gykas 1999). Phalp and Shepperd (2000) отмечают, что любой анализ на основе использования этих моделей состоит целиком из изучения диаграмм и вывод во многом зависит от квалификации аналитика.

Необходимость наличия формальной семантики в бизнес-процессах привела к возникновению второго поколения формальных моделей. Формальными считаются модели, в которых основы процесса заданы строго и точно, поэтому для анализа, извлечения знаний и определения причинно-следственных связей можно использовать математические методы. Преимуществом формальных моделей является то, что они могут быть проверены математически на наличие непротиворечивости и других свойств (Koubarakis and Plexousakis 2002). Однако имеет место недостаток формальных методов построения и разработки процессов, поскольку элементы и ограничения бизнес-процессов имеют в основном качественную природу, и представить их в формальном виде, пригодном для аналитических методов, непросто. Это объясняет сложность разработки «параметрических» моделей бизнес-процессов и тот факт, что в литературе описано всего лишь несколько практических примеров.

Сеть Петри – это пример методики моделирования бизнес-процессов, совмещающей в себе визуальное представление с использованием стандартной нотации с математическим представлением, лежащим в основе.

Несмотря на описанные выше достоинства сетей Петри, неудобства их применения заключены в процессе их выполнения в вычислительной системе. В сетях Петри нет строгого понятия процесса, который можно было бы выполнять на указанном процессоре. Нет также однозначной последовательности исполнения сети Петри, так как исходная теория представляет нам язык для описания параллельных процессов. Кроме того, при моделировании сложных систем модель имеет слишком большой объем и является трудно обозримой. С этим фактом тесно связан и еще один недостаток, часто отмечаемый в литературе по моделированию бизнес-процессов: сложность графической нотации для понимания бизнес-аналитиками и конечными пользователями, что затрудняет внедрение и использование модели для анализа.

Говоря о подходах, использующих только математические модели, следует заметить, что эта методика пока не является широко распространенной. Несмотря на преимущества математических моделей перед простыми графическими подходами, некоторые авторы критикуют и их. Построение формальной модели бизнес-процессов является гораздо более сложным и ресурсоемким процессом по сравнению с традиционными технологиями, где диаграммной модели вполне достаточно (Hofacker and Vetschera 2001). В (Koubarakis and Plexousakis 2002) отмечается, что использование сложных математических нотаций может помешать использованию модели бизнес-аналитиками, поскольку «требуется много работы для создания, поддержки и сохранения логики формального бизнес-процесса». Однако поскольку диаграммы могут привести к двусмысленности и неоднозначности в описании процесса, формальная модель доказывает, что процесс описан точно, а с использованием аналитических инструментов можно извлекать необходимую количественную информацию об изучаемом процессе. Это является главным преимуществом формальных методов моделирования бизнес-процессов.

Языки моделирования - третье и самое новое поколение методов моделирования бизнес-процессов, созданное как попытка учесть их сложность и в то же время сохранить логичность и возможность последующего анализа. Как и первое поколение, эта группа методов унаследована из области разработки программного обеспечения. Контекстно-зависимые исполняемые языки являются последней тенденцией в моделировании бизнес-процессов, в рамках которой уже появилось множество различных семантических пакетов, включая BPELWS (Business Process Execution Language for Web Services) и BPMML (Business Process Modeling Language), наиболее различающиеся между собой. В (Aalst 1998) отмечается, что процессные языки с их четкой семантикой полезны при описании моделей бизнес-процессов и анализе их структурных свойств. Другими примерами этой группы являются BPMN (White 2004), UML и UML2, XPDL, YAWL (Aalst and Hofstede 2003).

Языки моделирования бизнес-процессов доказали свою надежность как инструмент для формального моделирования и визуализации бизнес-процессов в терминах создания стандартизованных моделей, годных к повторному использованию.

Проведенный обзор демонстрирует широкое многообразие методов и инструментов моделирования бизнес-процессов. Некоторые из них были разработаны достаточно давно, но не потеряли своей актуальности по сей день благодаря своей простоте и гибкости и имеют

весьма широкое распространение, несмотря на существующие недостатки. Другие, напротив, являются относительно новыми и мощными методами, однако вместе с тем характеризуются избыточной сложностью и дороговизной внедрения, что может стать причиной отказа от них. Все это, а также резко возросшая в связи с глобализацией бизнеса и ростом конкуренции актуальность темы моделирования и управления бизнес-процессами заставляет авторов искать все новые и новые решения известных проблем и разрабатывать свои методы. Далее приведены примеры использования описанных выше методов для моделирования бизнес-процессов.

В работе китайских авторов Gou et al. (2000) предлагается методика моделирования бизнес-процессов «виртуальных предприятий» на основе сетей Петри. Предложенная авторами методика является типичным представителем группы математических моделей, основанным на теории сетей Петри со всеми присущими ей достоинствами и недостатками.

Другим ярким примером работы в области математического моделирования бизнес-процессов является разработка Yan and Yu-quiang (2006). Авторы предлагают новый метод извлечения информации о процессах (process mining), который основан на построении матрицы переходных вероятностей с использованием журналов процессов (process logs). Предложенный авторами алгоритм во многом снимает действие ограничений известных алгоритмов извлечения информации и улучшает качество создаваемых моделей. Пока что авторами предложен лишь метод моделирования с теоретической точки зрения без его машинной реализации или рекомендаций по практическому использованию.

В работе Vick and Harrell (1998) описываются системы дискретно-событийного моделирования ProcessModel и ProcessModel 9000. Система ProcessModel 9000 является вариацией ProcessModel, позволяющей менеджерам по качеству документировать, анализировать и совершенствовать процессы управления качеством в рамках сертификации по стандартам ISO 9000 и QS-9000.

Другим направлением исследований в области управления бизнес-процессами является разработка технологий интеграции и совершенствования существующих методов моделирования с целью повышения эффективности моделирования, удобства использования моделей и разработки новых инструментальных средств. В качестве примера укажем работу Badica et al. (2005). Авторами представлен подход для интеграции двух нотаций моделирования бизнес-процессов – диаграмм ролевой активности (RAD) и гибридного IDEF (Hybrid IDEF).

Кроме того, ими предложен прототип инструментальной системы, основанной на платформе Eclipse.

Исторически наибольшее распространение в России получила методология функционального моделирования бизнес-процессов семейства ICAM Definition – IDEF0. Рассмотрим подробнее эту методологию, принадлежащую группе графических методов (см. выше).

Методологии семейства IDEF создавались в рамках предложенной ВВС США программы компьютеризации промышленности – ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) в конце 70-х годов прошлого столетия. После опубликования стандарта он был успешно применен в самых различных областях бизнеса, показав себя эффективным средством анализа, конструирования и отображения бизнес-процессов, а также исследования их структуры, параметров и различных характеристик. Собственно, с широким применением IDEF и связано возникновение основных идей понятия реинжиниринга бизнес-процессов - BPR (Business Process Reengineering).

Наибольшее распространение на сегодняшний момент получили методологии IDEF0 и IDEF1 (IDEF1x). В России наиболее широко используется методология функционального моделирования процессов IDEF0. Исторически это одна из первых нотаций для описания процессов, использовавшихся при проектировании интегрированных компьютеризированных производств и автоматизированных предприятий. В связи с этим Госстандартом России 2 июля 2001 г. были приняты и введены в действие рекомендации по сертификации (ГОСТ Р 50.1.028-2001), в которых приводятся основные сведения о методологии IDEF0 и графическом языке описания моделей, а также практические указания по методике их разработки. Объектами функционального моделирования и структурного анализа по методологии IDEF0 являются организационно-экономические и производственно-технические системы.

Основной концептуальный принцип методологии IDEF0 – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отражающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе. Каждой функции ставится в соответствие блок. На IDEF0-диаграмме блок представляет собой прямоугольник. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками или с внешней по отношению к моделируемой системе средой, представляются стрелками, входящими в блок или выходящими из него. Входящие стрелки показывают, какие условия должны быть одновременно выполнены, чтобы функция, описанная блоком, осуществилась.



Основными понятиями IDEF0 являются (в интерпретации стандарта ГОСТ Р 50.1.028-2001):

- Блок – прямоугольник, содержащий имя и номер и используемый для описания функции.

- Стрелка – направленная линия, состоящая из одного или нескольких сегментов, которая моделирует открытый канал или канал, передающий данные или материальные объекты от источника (начальная точка стрелки) к потребителю (конечная точка стрелки с «наконечником»). Имеется четыре класса стрелок: входная, выходная, управляющая и стрелка механизма (включая стрелку вызова).

- Входная стрелка – класс стрелок, отображающих вход IDEF0-блока, то есть данные или материальные объекты, которые преобразуются функцией в выход. Входные стрелки связываются с левой стороной блока IDEF0.

- Выходная стрелка – класс стрелок, отображающих выход IDEF0-блока, то есть данные или материальные объекты, произведенные функцией. Выходные стрелки связываются с правой стороной блока IDEF0.

- Декомпозиция – разделение моделируемой функции на функции – компоненты.

- Диаграмма – часть модели, описывающая декомпозицию блока.

- Контекстная диаграмма – диаграмма, имеющая узловой номер  $A - n$ ,  $n \geq 0$ , которая представляет собой контекст модели. Под контекстом в данном случае понимается окружающая среда, в которой действует функция (или комплект функций на диаграмме).

- Связывание/развязывание – объединение значений стрелок в составное значение (связывание в «пучок») или разделение значений стрелки (развязывание «пучка»), выраженные синтаксисом слияния и ветвления стрелок.

- Стрелка механизма – класс стрелок, которые отображают механизмы IDEF0, то есть средства, используемые для выполнения функции. Стрелки механизмов связываются с нижней стороной блока IDEF0.

- Стрелка вызова – вид стрелки механизма, который обозначает обращение из блока данной модели (или части модели) к блоку другой модели (или части той же модели) и обеспечивает связь между моделями или между различными частями одной модели.

- Управляющая стрелка – класс стрелок, которые в IDEF0 обозначают управления, т.е. условия, при выполнении которых выход блока будет правильным. Данные или объекты, моделируемые как

управления, могут преобразовываться функцией, создающей соответствующий выход. Управляющие стрелки связываются с верхней стороной блока IDEF0.

Стандартное расположение стрелок показано на рисунке 6.2.1.

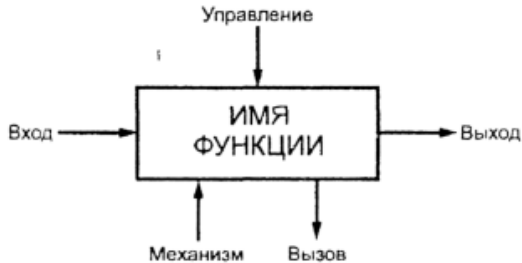


Рис. 6.2.1. Стандартное расположение стрелок на блоке диаграммы

Приведем основные факторы, ставшие причиной столь широкого распространения методологии функционального моделирования IDEF0:

- невысокая стоимость разработки моделей;
- возможность построения модели, которая позволила бы в дальнейшем быстро и эффективно скорректировать систему в соответствии с новыми условиями и требованиями;
- четкое отображение логики взаимодействия процессов организации, наглядность визуального представления;
- возможность получения полной информации (управление, информационные и материальные потоки, обратные связи) о каждой работе, процедуре, операции благодаря жестко регламентированной структуре;
- возможность агрегирования и детализации потоков данных и информации;
- простота и повышение качества документирования структуры и взаимодействия подразделений организации, возможность выработки оптимальной организационной структуры на основе модели;
- соответствие подхода к описанию процессов стандартам ISO 9000:2008.

Благодаря указанным факторам IDEF0 по-прежнему является одной из наиболее приемлемых методологий моделирования бизнес-процессов.

Кроме своих преимуществ, методология IDEF0 обладает и рядом недостатков, отмечаемых различными авторами, а также особенностями, которые при определенных условиях можно отнести к слабым сторонам:

- являясь методологией функционального моделирования, IDEF0 не слишком хорошо предназначена для моделирования процессов;

- с ее помощью невозможно отразить работу процесса в динамике или работы, идущие параллельно друг другу;

- наличие всего лишь функционального и информационного типов моделей, остальные аспекты архитектуры, к примеру, процессный, если и могут быть отобразены, то на недостаточном уровне (Калянов 2005);

- недостаточный уровень формализма и отсутствие возможности применения математических методов анализа моделей;

- сложность восприятия при значительных размерах моделируемой системы, необходимость анализа большого числа диаграмм, связанная с множеством уровней декомпозиции;

- наличие логико-лингвистических противоречий и неточностей в определении стандарта обуславливает необходимость создания различного рода интерпретаций и уточнений, специфичных для исследуемой области.

Таким образом, методология IDEF0 является достаточно привлекательным инструментом моделирования, особенно на начальных стадиях реинжиниринга бизнес-процессов, прежде всего, в силу таких качеств, как простота, наглядность и относительная дешевизна использования. Она позволяет в краткие сроки выработать оптимальную в некотором смысле организационную структуру с учетом изменившихся требований или условий внешней среды.

Однако, обладая в то же время рядом существенных недостатков, основными из которых являются недостаточный уровень формализма и невозможность учета динамики бизнес-процессов, она плохо подходит в качестве средства их глубокого анализа. На этих этапах необходим переход к более сложным и в то же время мощным средствам, позволяющим учитывать протекание процессов во времени, их взаимодействие между собой, распределение и использование ими ресурсов, а также вычисление различных временных и стоимостных

характеристик функционирования системы в целом и отдельных ее блоков.

Все это обуславливает актуальность исследований в области разработки интегрированных инструментальных средств, способных осуществлять переход от разработанных на начальных этапах реинжиниринга относительно простых моделей к более сложным, использующим в качестве описательного средства математический аппарат. Подобные системы должны включать в себя средства для анализа моделей, сбора статистики и проведения экспериментов (Тихонов 2009).

В следующем параграфе предлагается методика перехода от модели IDEF0 к модели системы массового обслуживания и учета в ней управляющих воздействий. Предложенная методика используется для построения системы имитационного моделирования, включающей в себя средства для преобразования моделей, планирования и проведения имитационных экспериментов по различным сценариям и обработки их результатов. В качестве примера объекта исследования рассматривается совокупность бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации.

Важным направлением информационного моделирования является построение так называемых онтологических моделей. Исходно в философии под онтологией понимается учение о сущем и его бытии, видах, структуре, закономерностях бытия. В конце прошлого века усилиями Б.Смита, Н.Гуарино и других исследователей онтологические идеи были распространены на информационное моделирование и разработку информационных систем (см., напр. Smith 1998). В частности, под онтологией предприятия понимается «коллекция терминов и определений, релевантных предприятию» (The Enterprise Ontology 1995).

Б.Я.Шведин (2006) формулирует следующие тезисы, лежащие в основе интеллектуальной технологии, основанной на экспериентологическом подходе к онтологическому моделированию:

- каждое предприятие понимается как некое бизнес - сущее, имеющее свою индивидуальную судьбу (антропоморфный подход);
- основой существования предприятия является его уникальный индивидуальный опыт, который должен накапливаться, структурироваться и храниться с помощью информационных систем. Если у человека вместилищем опыта служит память, то у бизнес - сущего – система наследования опыта;
- конкретная деятельность отдельного предприятия за определенный период времени – это и есть его индивидуальный и уникальный

опыт;

- в настоящее время опыт предприятий специально не накапливается, а существует лишь в головах менеджеров, что приводит к неизбежной потере этого опыта с уходом менеджеров из организации;

- система наследования опыта должна являться «мозгом» организации и инструментом ее адаптации в постоянно меняющейся среде;

- сегодня автоматизированные системы управления предприятием лишены обратной связи. Такие системы в лучшем случае могут обеспечить реактивное поведение бизнес - объектов и не позволяют достичь проактивной реакции на изменения среды;

- в отличие от человека, предприятие как социальный организм не обладает подсознанием, поэтому «мозг» предприятия способен использовать лишь дискурсивные модели принятия решений;

- предлагаемая система QuaSu является инструментом, который позволяет наделить корпоративные информационные системы собственным «мозгом» и включить их в процесс организации, накопления и структурирования индивидуального опыта социальных существ – организаций.

Основываясь на этой методологии, Б.Шведин предлагает онтологическую модель бизнес - объекта ВЕОМ (Business Entity Ontological Model) как целостную модель единичного бизнес - существа, обеспечивающую его самоуправление, выживание и адаптивное поведение в течение всего жизненного цикла. В структуру ВЕОМ входят в качестве основных компонентов субъекты, объекты, задачи и отношения делового оборота, а также описания пространства и времени, онтологический классификатор и технологии именованности объектов. В целом ВЕОМ позволяет дать онтологически связанное описание архитектуры организации, решаемых ею задач, связанных с ними норм, регламентов, отношений и ситуаций.

Субъекты делового оборота делятся на субъектов внешнего и внутреннего (по отношению к организации) оборота. Субъектами внешнего оборота могут быть физические и юридические лица – партнеры организации, а субъектами ее внутреннего оборота – подразделения и отдельные сотрудники. Другое основание для классификации субъектов делового оборота – их подразделение на основных и вспомогательных. Оптимальное конфигурирование субъектов внутреннего делового оборота играет важную роль в формировании организационной структуры.

Объекты делового оборота подразделяются на материальные и нематериальные. Как и субъекты, они должны быть именованы и аттрибутированы.

Задачи делового оборота возникают в основной (приносящей доход) и вспомогательной (обеспечивающей основную) деятельности предприятия. Построение дерева задач представляет собой сложную проблему, ведущую роль в решении которой играет обоснованное выделение оснований для декомпозиции и последующей интеграции задач.

Отношения внутреннего и внешнего делового оборота подразделяются на нормы, регламенты, договора и организационные структуры.

Предлагаемая технология QuaSy способствует приобретению информационными системами онтологического статуса, отличающего их от простых систем оперативного учета, контроля и управления документооборотом (Шведин 2006).

### **6.3. Информационная модель организации как системы массового обслуживания**

В этом параграфе рассматривается методика построения дискретно-событийной модели системы бизнес-процессов произвольной организации на основе их описания средствами методологии функционального моделирования IDEF0 (Тихонов 2009; Угольниковский и Тихонов 2008).

Как указывалось в параграфе 6.2, стандарт IDEF0 сам по себе недостаточен для построения модели, адекватной для предсказания поведения системы в ответ на управляющие воздействия и выработку предупреждающих и корректирующих мер, направленных на поддержание системы показателей качества в желаемой области, вследствие наличия у него группы характерных особенностей и недостатков, прежде всего, недостатка формализма при описании бизнес-процессов и логико-лингвистических противоречий в определении исходных примитивов. Одним из инструментов, способных дать ответ о реакции выбранной системы показателей качества в ответ на управляющие воздействия, либо же способных оценить ее эффективность, является имитационная модель (Лоу и Кельтон 2004; Павловский 2000; Шеннон 1978). Однако для построения имитационной модели сначала требуется привести исходную модель к виду, пригодному для этого.

Для достижения этой цели предлагается построение дискретно-событийной модели системы с использованием теории СМО - систем массового обслуживания (Гнеденко и Коваленко 2007). Далее будет показано, что бизнес-процессы допускают весьма удобную и нагляд-

ную интерпретацию с точки зрения теории систем массового обслуживания и тесно связанной с ней теории входящего потока.

Рассмотрим кратко основные этапы, необходимые для перехода от модели системы в терминах IDEF0 к дискретно-событийной модели и, в конечном счете, к имитационной модели бизнес-процессов.

На первом этапе требуется избавиться от логико-лингвистических противоречий и неточностей, допускающих двусмысленность в интерпретации определений основных структурных элементов исходной модели. Иными словами, нужно определить, что же в действительности будет означать тот или иной термин и как будут интерпретироваться определения основных структурных элементов модели с учетом целей моделирования и используемого аппарата, т.е. аппарата СМО.

Однако подобную интерпретацию следует производить еще до построения функционального описания системы в IDEF0, поскольку она влияет именно на структуру IDEF0-модели, определяя, какие элементы рассматриваемой системы следует относить к определенным интерфейсам, как осуществлять слияние и разделение потоков и т.п. В работе (Рубцов 2003) приводятся примеры методик сужения интерпретации исходных примитивов для учета в модели временного фактора. В данной книге подразумевается наличие готовой модели IDEF0 и процесс ее построения не рассматривается.

На втором этапе необходимо проанализировать метамодели обеих методик и выработать систему правил, согласно которым структурным элементам одной модели будут сопоставляться элементы другой.

На третьем этапе в соответствии с выбранными правилами осуществляется построение дискретно-событийной модели. Очевидно, что поскольку полученная модель должна быть более сложной, чем исходная, информации будет не хватать, поэтому необходима выработка правил и методов получения этой недостающей информации. Часть ее может быть получена все из той же исходной модели или других ее частей, часть должна быть доопределена исследователем.

Для придания создаваемой модели большей функциональности и практической ценности на четвертом этапе необходимо внести дополнительные элементы, которые позволили бы учесть качество осуществления бизнес-процессов и управляющие воздействия на систему извне.

Следующие несколько этапов представляют собой шаги по построению имитационной модели:

- выработка правил генерации графа событий системы, т.е. уста-

новление взаимозависимостей между событиями, происходящими в системе, что позволит, во-первых, упростить ее программную реализацию, во-вторых, установить логичность и непротиворечивость модели и упростить ее структуру (Лоу и Кельтон 2004);

- структурная и численная идентификация модели, т.е. определение вида входящих в модель функций и их числовых параметров;
- программная реализация.

Далее будут рассмотрены первые четыре этапа, позволяющие осуществить переход от функционального описания бизнес-процессов к дискретно-событийному.

Для построения имитационной модели системы на основе описания ее с использованием методологии IDEF0 требуется, во-первых, адекватная целям моделирования интерпретация стандарта, во-вторых, набор правил, согласно которым исходным примитивам IDEF0 ставятся в соответствие основные понятия выбранного аппарата моделирования.

Изначально событийной интерпретации стандарт IDEF0 не предусматривает, поскольку на это ориентирован стандарт IDEF3 (1995). Однако, как показано, например, в работе (Рубцов 2003), путем упомянутого выше сужения интерпретаций его исходных примитивов можно получить достаточно простые правила, позволяющие определять моменты начала (а иногда - и окончания работ), пользуясь только аппаратом IDEF0. Однако эти правила плохо подходят для перехода к модели в терминах СМО, делая ее слишком абстрактной и неудобной для последующей формализации. Поэтому предлагается другая методика, позволяющая однозначно поставить в соответствие исходным примитивам IDEF0 основные элементы модели СМО и тем самым легко переходить к ним от IDEF0-диаграмм безотносительно содержания последних.

Поставим в соответствие основным понятиям стандарта IDEF0 элементы модели в терминах СМО. Поскольку СМО моделирует выполнение процесса обслуживания поступающих заявок, то блоку на диаграмме IDEF0, используемому для описания функции, сопоставим СМО. Таким образом, число блоков на диаграмме IDEF0 будет соответствовать числу подсистем рассматриваемой СМО. Обозначим  $M \neq \emptyset$  - множество блоков, или множество СМО, составляющих моделируемую систему;  $|M| = M$  - число этих блоков.

С каждой СМО тесно связаны как минимум два потока – входящий и выходящий. В свою очередь, стрелка на диаграмме IDEF0 моделирует открытый канал или канал, передающий данные или материальные объекты от источника к потребителю. Следовательно, логичным



будет сопоставить стрелку IDEF0 потоку заявок (входящему либо исходящему), что позволит описать движение информации и материальных объектов в системе и изменения состояний системы, с этим связанные.

Входы (входные стрелки) рассмотрим в качестве входящих потоков заявок, поскольку они моделируют данные или материальные объекты, поступающие на вход функции и преобразуемые ею в выход. Очевидно, что IDEF0-диаграммы отображают входы как классы объектов, в то время как входами для СМО являются конкретные экземпляры этих классов (это утверждение справедливо и для некоторых других элементов модели). Обозначим

$\Phi' = \{z_{in}, i \geq 1\}_{i=1}^N$  - множество входящих потоков требований узлов сети;

$z_{in}$  - интервалы времени между двумя последовательными  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м событиями, имеющие функции распределения  $F_{z_n}$ .

В свою очередь, выходные стрелки IDEF0-диаграммы отображают выход IDEF-блока, то есть данные или материальные объекты, произведенные функцией. Следовательно, в модели СМО они будут представлены выходными потоками заявок. Обозначим

$\Phi'' = \{u_{ik}, i \geq 1\}_{k=1}^K$  - множество исходящих потоков требований узлов сети;

$u_{ik}$  - интервалы времени между двумя последовательными  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м событиями, имеющие функции распределения  $F_{u_k}$ .

В соответствии с понятием декомпозиции, т.е. разделения исследуемой функции на функции-компоненты, рассматривается иерархия заявок, соответствующая различным уровням детализации процессов на диаграммах IDEF0. В частности, контекстной диаграмме  $A - 0$  ставятся в соответствие заявки нулевого уровня, дочерним диаграммам контекстной диаграммы  $A - 0$  - заявки 1-го уровня и т.д. Тогда бизнес-процесс  $S$ -го уровня логично понимать как процесс обслуживания заявки  $S$ -го уровня.

Граничным стрелкам поставим в соответствие входные/выходные потоки, являющиеся внешними по отношению к рассматриваемой подсистеме (которая представлена данной диаграммой IDEF0).

Поскольку функция, по сути, отождествляется с процессом (см., напр., ГОСТ Р 50.1.028-2001), то ей будет соответствовать сама СМО (точнее, одна из ее подсистем).

Диаграмма, т.е. часть модели, описывающая декомпозицию блока,

в терминах СМО представляет собой несколько связанных между собой СМО, соответствующих каждому из блоков на диаграмме, т.е. сеть СМО. Контекстная диаграмма  $A - O$  будет соответствовать верхнему уровню детализации модели, т.е. единственной СМО, инкапсулирующей в себе все остальные подсистемы, представляющие дочерние диаграммы IDEF0.

Связывание и развязывание, т.е. объединение значений стрелок в составное значение (разделение значений стрелки), выражаемые на диаграмме слиянием и ветвлением стрелок в терминах СМО, означает наложение потоков с образованием сложного потока (Матвеев и Ушаков 1984) либо их разделение. При этом разделение потоков может осуществляться по правилам «И» (AND-split) (в этом случае результирующие потоки эквивалентны исходному) или «Исключающее ИЛИ» (XOR-split) (в этом случае результирующие потоки определяются правилом, по которому происходит разделение). Слияние же может происходить только по правилу «И» (AND-join) (в этом случае результирующий поток определяется наложением исходных потоков).

Поскольку механизмы IDEF0 представляют собой средства, используемые для выполнения функции, т.е. входы преобразуются функцией в выходы с помощью механизмов, то последние логично представить в модели СМО устройствами обслуживания, на которые поступают входящие заявки и управления. Поскольку в организационных системах бизнес-процессы одновременно обрабатывают несколько экземпляров входов (генерируют несколько экземпляров выходов), к примеру, отдел работает над несколькими проектами сразу, устройства обслуживания являются в общем случае многоканальными.

Вызовы, являющиеся особым типом интерфейсной дуги, интерпретируются в качестве исходящего потока заявок особого типа, который генерируется во время выполнения процесса или до его начала.

Наиболее сложным для интерпретации в рамках аппарата СМО является понятие «Управление» (представленное на диаграммах IDEF0 управляющими стрелками). Управления определяют условия, необходимые функции, чтобы произвести правильный выход. В данной работе управления процесса рассматриваются в качестве входящего потока событий, т.е. входящий поток событий под названием «управления» является потоком поступления представителей классов управляющих воздействий, поскольку каждое такое событие изменяет состояние системы. Это позволяет учесть два важных

момента: во-первых, требование обязательного наличия управления при осуществлении какого-либо процесса, во-вторых, возможность корректировки процесса при его моделировании.

Проиллюстрируем сказанное на примере схемы абстрактного бизнес-процесса. Рассмотрим модель процесса с  $N$  входами,  $K$  выходами и  $L$  управлениями (рис. 6.3.1):

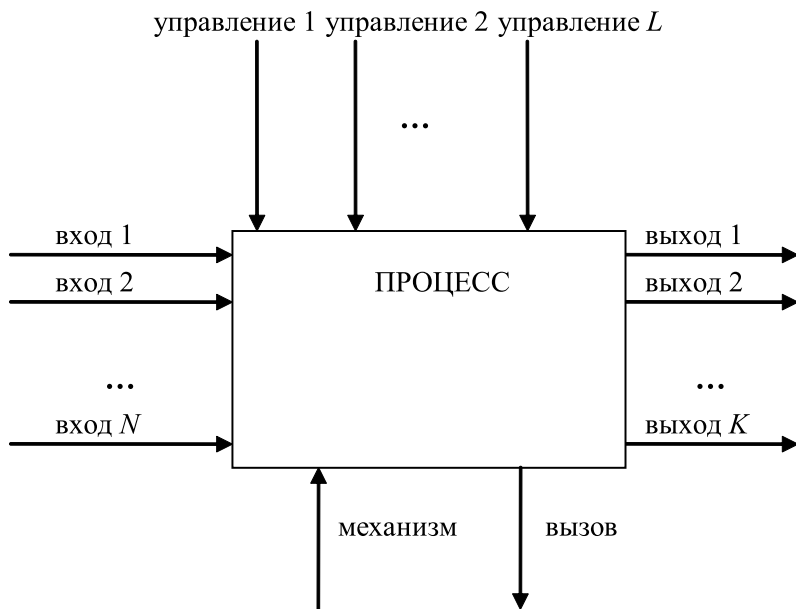


Рис. 6.3.1. Пример схемы абстрактного бизнес-процесса

Для сопоставления входящих/исходящих потоков и соответствующих им управлений требуется дополнительная информация о структуре системы, не показанная на диаграмме процесса рассматриваемого уровня. Ее источником, очевидно, являются диаграммы дочерних процессов (для удобства на рис. 6.3.2 диаграммы дочерних процессов наложены на диаграмму родительского процесса):

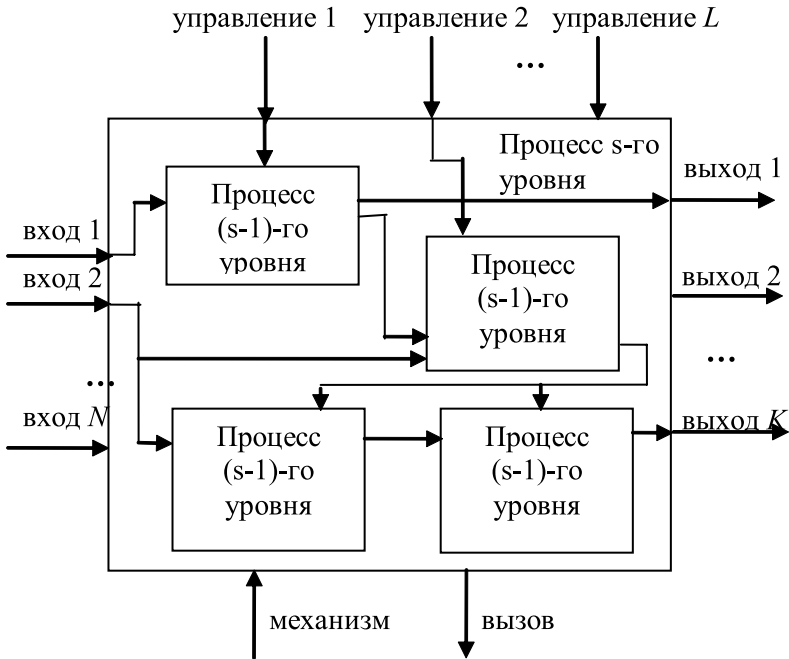


Рис. 6.3.2. Процесс с наложенными диаграммами дочерних процессов

Структуру такой системы удобно формализовать в виде ориентированного графа. Обозначим

$G = \langle M, U, f \rangle$  - орграф, определяющий структуру сети СМО;

$M \neq \emptyset$  - множество вершин графа, т.е. множество узлов сети СМО;

$U \neq \emptyset$  - множество дуг графа, т.е. множество потоков, связывающих узлы сети;

$f : U \rightarrow M \times M$  - отношение инцидентности, задающее структуру связей между узлами и дугами.

Рассмотрим  $M = \underline{M} \cup \overline{M}$ ,  $\underline{M} \cap \overline{M} = \emptyset$ , где

$\underline{M}$  - множество истинных вершин графа, соответствующих узлам рассматриваемой сети СМО;

$\overline{M}$  - множество фиктивных вершин, которые вводятся для обо-

значения источников и приемников внешних потоков.

Далее, рассмотрим  $\overline{M} = \overline{M}' \cup \overline{M}'' \cup \overline{M}'''$ , где

$\overline{M}'''$  - множество фиктивных вершин, соответствующих исходящим потокам системы, т.е.,  $\overline{M}''' = \{x \in M \mid f^{-1}(\{x\} \times (M \setminus \{x\})) = \emptyset\}$ .

$\underline{M}'''$  - множество истинных вершин, соответствующих исходящим потокам системы, т.е.  $\underline{M}''' = \{x \in M \mid \exists y \in \overline{M}''' : f^{-1}(x, y) \neq \emptyset\}$ .

$\overline{M}'$  - множество фиктивных вершин, соответствующих внешним управлениям,  $\overline{M}$  - множество фиктивных вершин, соответствующих внешним входам, так что  $\overline{M}' \cup \overline{M}'' = \{x \in \underline{M}'' \mid f^{-1}((M \setminus \{x\}) \times \{x\}) = \emptyset\}$ .

Аналогично,  $\underline{M}$  - множество истинных вершин, соответствующих внешним управлениям;  $\underline{M}'$  - множество истинных вершин, соответствующих внешним входам, так что  $\underline{M}' \cup \underline{M}'' = \left\{ x \in M \mid \exists y \in \left( \overline{M}' \cup \overline{M}'' \right) : f^{-1}(y, x) \neq \emptyset \right\}$ .

Определим соответствующие множества дуг. Рассмотрим  $U = \underline{U} \cup \overline{U}$ , где

$\underline{U}$  - множество дуг, соответствующих внутренним потокам сети;

$\overline{U}$  - множество дуг, соответствующих внешним потокам, т.е. входам, управлениям и выходам. Тогда

$$\underline{U} = \{u \in U \mid ((p_1 \circ f)(u) \notin \overline{M}) \wedge ((p_2 \circ f)(u) \notin \overline{M})\};$$

$$\overline{U} = U \setminus \underline{U}.$$

$$\overline{U}''' = \left\{ u \in \overline{U} \mid ((p_2 \circ f)(u) \in \overline{M}''') \right\} - \text{множество дуг, соответствующих внешним выходам сети;}$$

$\bar{U}'' = \left\{ u \in \bar{U} \mid \left( (p_1 \circ f)(u) \in \bar{M}'' \right) \right\}$  - множество дуг, соответствующих внешним управлениям сети;

$\bar{U}' = \left\{ u \in \bar{U} \mid \left( (p_1 \circ f)(u) \in \bar{M}' \right) \right\}$  - множество дуг, соответствующих внешним входам сети. Здесь

$$p_1 : M \times M \rightarrow M; \quad p_2 : M \times M \rightarrow M \quad \text{так, что}$$

$$\forall (x, y) \in M \times M \quad p_1((x, y)) = x; \quad p_2((x, y)) = y$$

В этом примере входящий поток, соответствующий входу 1, сопоставляется исходящим потокам 1, 2 и  $K$ ; входящий поток, соответствующий входу 2, сопоставляется исходящим потокам 2 и  $K$ . Следует заметить, что сопоставление это может быть не прямым, т.е. через один дочерний процесс, а опосредованным, т.е. через несколько дочерних процессов, для которых выход одного из них будет входом или даже управляющим воздействием для другого.

Таким образом, каждому входящему потоку может соответствовать не один, а несколько исходящих потоков, как, впрочем, и наоборот.

Аналогичные рассуждения применимы и к потокам управляющих воздействий.

Матрица  $A_{(N+L) \times K}$  с элементами

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } \exists \eta : [1; n]_N \rightarrow U \mid (p_2 \circ f \circ \eta)(k-1) = (p_1 \circ f \circ \eta)(k), k = 2, \dots, n \\ 0, & \text{и } (p_1 \circ f \circ \eta)(1) = i \in \underline{M}' \cup \underline{M}'', (p_2 \circ f \circ \eta)(n) = j \in \underline{M}''' \\ & \text{иначе} \end{cases}$$

задает соответствие входов и выходов рассматриваемой подсистемы.

Здесь

$$N = \left| \underline{M}' \right|, \quad L = \left| \underline{M}'' \right|, \quad K = \left| \underline{M}''' \right|.$$

Обозначим

$$\Phi' = \{z_{in}, i \geq 1\}_{i=1}^{\bar{N}} - \text{входящие потоки требований всех узлов}$$

сети;

$\Phi'' = \{u_{ik}, i \geq 1\}_{k=1}^{\bar{K}}$  - исходящие потоки требований всех узлов

сети;

$\Phi''' = \{w_{il}, i \geq 1\}_{l=1}^{\bar{L}}$  - потоки событий поступления управляющих

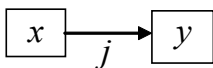
воздействий на все узлы сети;

$\Phi = \Phi' \cup \Phi'' \cup \Phi'''$  - множество всех потоков системы.

Величины  $z_{in}$ ,  $u_{ik}$ ,  $w_{il}$  - интервалы времени между двумя последовательными  $(i-1)$ -м и  $i$ -м событиями, имеющие функции распределения  $F_{z_n}$ ,  $F_{u_k}$  и  $F_{w_l}$  соответственно.

Соответствие потоков дугам задается отображением  $g: U \rightarrow (\Phi' \cup \Phi'') \times \Phi'''$ .

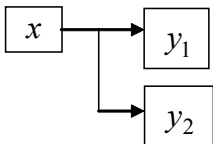
Если узел связан одним потоком только с одним узлом, т.е.



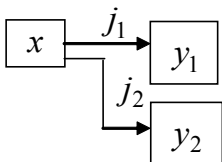
то  $g(j) = (\{z_{in(y,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x,1)}, i \geq 1\})$ , где  $n: M \times N \rightarrow N$

- отображение, ставящее в соответствие вершине графа и номеру его дуги номер потока.

Если исходящий поток разделяется, т.е.



то рассматриваются две дуги, так что



$$\text{и } g(j_1) = (\{z_{in(y_1,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x,1)}, i \geq 1\}),$$

$$g(j_2) = (\{z_{in(y_2,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x,2)}, i \geq 1\}), \text{ где}$$

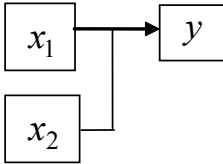
$$\{u_{in(x,1)}, i \geq 1\} = \{u_{in(x,2)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y_1,1)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y_2,1)}, i \geq 1\},$$

если разделение потоков производится по правилу «И» («AND-split»), и

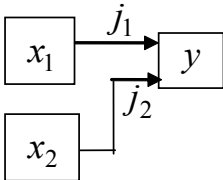
$$\{u_{in(x,1)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y_1,1)}, i \geq 1\} \neq \{z_{in(y_2,1)}, i \geq 1\} = \{u_{in(x,2)}, i \geq 1\}$$

- в противном случае.

В ситуации обратной, т.е. при слиянии потоков,



рассматривается конструкция



$$\text{и } g(j_1) = (\{z_{in(y,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x_1,1)}, i \geq 1\}),$$

$$g(j_2) = (\{z_{in(y,2)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x_2,1)}, i \geq 1\}), \text{ причем}$$

$$\{u_{in(x_1,1)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y,1)}, i \geq 1\} \neq \{z_{in(y,2)}, i \geq 1\} = \{u_{in(x_2,1)}, i \geq 1\}.$$

Обозначим

$\Xi = \{\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_S\}$  - множество устройств обслуживания,  $S$  - число устройств.

Каждое устройство имеет число каналов  $c_i, i = 1, 2, \dots, S$ , равное числу процессов, механизмом которых оно является.



Соответствие устройств обслуживания узлам сети зададим на графе отображением  $h: M \rightarrow \Xi$ .

Устройства имеют очереди длиной  $q_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, Q_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, S$ , число которых

$$Q_j = |h^{-1}(\zeta_j)| \cdot \left| \left\{ u \in U : \forall x \in h^{-1}(\zeta_j) (p_2 \circ f)(u) = x \right\} \right|.$$

Дисциплины очередей могут быть произвольными, в рамках данной работы рассматривается множество дисциплин

$$D = \{ \text{"FIFO"}, \text{"LIFO"}, \text{"С приоритетами"} \}.$$

Рассмотрим теперь важнейший элемент СМО – время обслуживания заявок. Пусть входящая заявка в процессе обслуживания проходит ряд этапов (т.е., связана с исходящей заявкой опосредованно, через ряд дочерних процессов), и на вход каждого из них подается несколько внешних потоков заявок (от родительского процесса) и несколько – от других дочерних процессов

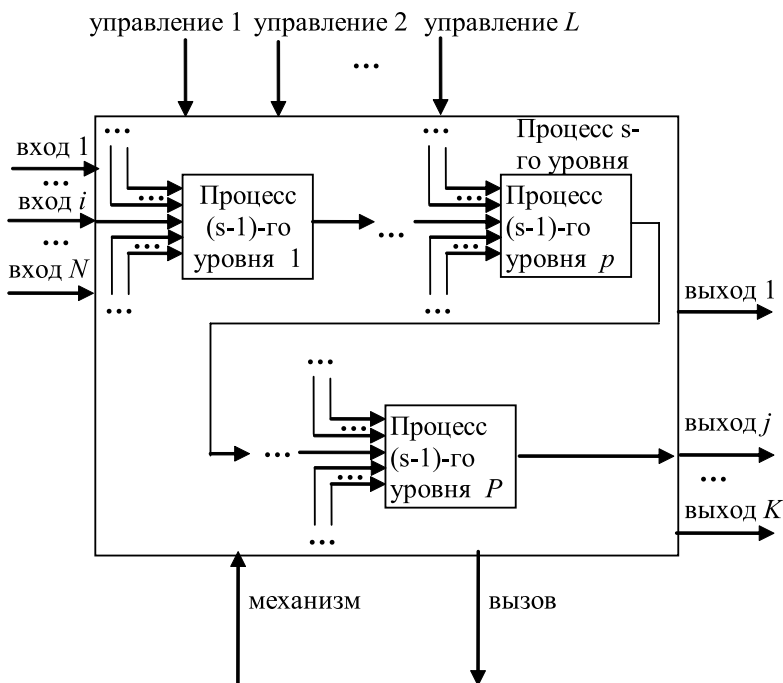


Рис. 6.3.3. Этапы обслуживания заявки

Эти этапы образуют цепочку переходов входящей заявки типа  $i$ -го входящего потока родительского процесса в заявки его дочерних процессов до ее выхода в качестве исходящей заявки типа  $j$ -го исходящего потока родительского процесса. Если цепочка раздваивается на каком-либо из этапов (что соответствует, например, нескольким альтернативным процедурам принятия решения), то будем рассматривать две цепочки, каждая из которых соответствует разным путям перехода заявок.

Обозначим

$t'_p$  - момент генерации исходящей заявки  $p$ -го дочернего процесса, входящего в цепочку, связывающую  $i$ -й вход родительского процесса и его  $j$ -й выход;

$\tau_p$  - время генерации выхода вышеуказанного дочернего процесса в ответ на поступившие входы;

$t_s$  - момент поступления входящей заявки  $S$ -го потока;

$\hat{t}_s$  - время ожидания заявки  $S$ -го потока в очереди по причине занятости устройства.

Тогда очевидным будет соотношение

$$t'_p = \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \{t'_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s\} + \tau_p,$$

где

$R_p$  - множество входящих потоков  $p$ -го дочернего процесса, являющихся исходящими потоками других дочерних процессов;

$S_p$  - множество входящих потоков  $p$ -го дочернего процесса, являющихся внешними по отношению к родительскому процессу.

Тогда момент  $t'_j$  генерации выхода  $j$  родительского процесса в ответ на его вход  $i$  будет определяться соотношением

$$t'_j = t'_p = \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \{t'_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s\} + \tau_p,$$

или

$$\tau_j = t'_j - t_i = \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \{t'_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s\} + \tau_p - t_i$$

для каждой из цепочек дочерних процессов, соответствующих переходу  $i \rightarrow j$ .

Далее, поскольку для каждого из процессов, стоящих в цепочке ранее, также выполняется соотношение

$$t'_p = \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \{t'_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s\} + \tau_p,$$

ТО

$$\begin{aligned}
 t'_j = t'_p &= \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \{t'_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s\} + \tau_p = \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \left\{ \max_{\substack{n_1 \in R_r \\ s_1 \in S_r}} \{t'_{n_1} + \hat{t}_{n_1}, t_{s_1} + \hat{t}_{s_1}\} + \tau_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s \right\} + \tau_p = \dots = \\
 &= \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \left\{ \max_{\substack{n_1 \in R_r \\ s_1 \in S_r}} \left\{ \dots \max_{\substack{r_{p-1} \in R_{r_{p-1}} \\ s_{p-1} \in S_{r_{p-1}}} \{t'_{r_{p-1}} + \hat{t}_{r_{p-1}}, t_{s_{p-1}} + \hat{t}_{s_{p-1}}\} + \tau_{r_{p-2}} + \hat{t}_{r_{p-2}}, \dots, \hat{t}_{r_1}, t_{s_1} + \hat{t}_{s_1} \right\} + \tau_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s \right\} + \tau_p
 \end{aligned}$$

Обслуженная заявка покидает систему, и вместо нее в систему поступают (в качестве входного потока подсистемы, для которой выход рассматриваемой подсистемы является входом), вообще говоря, несколько заявок других классов (очевидно, возможна и обратная ситуация), поскольку число входов и выходов процесса может не совпадать.

Здесь было сделано одно важное допущение, касающееся определения уровня детализации модели и учета моментов поступления входящих/исходящих заявок. А именно, генерация выхода дочернего процесса начинается только после поступления всех входов, связанных с ним. Иначе говоря, ситуация ожидания на каком-либо из этапов внешней входящей заявки невозможна. Это позволяет не детализировать модель при рассмотрении процесса уровня  $S$  ниже уровня  $S - 1$ , рассмотрев вместо этого величины  $\tau_{r_i}$  дочерних процессов уровня  $S - 1$ . Таким образом, детализация модели определяется тем уровнем, на котором указанным фактом можно пренебречь.

Покажем, что учет в модели входящих заявок, являющихся частью контуров обратной связи в ответ на вызов, не изменяет выражений для времени обслуживания.

Рассмотрим некий процесс, который условно назовем «Потребитель»:

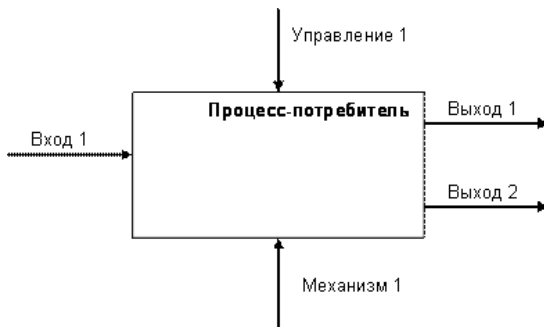


Рис. 6.3.4. Пример процесса

Для его осуществления необходимо выполнение какой-то заявки, исходящей от него самого (к примеру, заявки на IT-обслуживание). Очевидно, что потребность в ее выполнении возникает не обязательно до начала его осуществления, а скорее всего, во время, т.е. оно необходимо для осуществления некоторого подпроцесса процесса-потребителя. Пусть это будет, например, подпроцесс 2:



Рис. 6.3.5. Детализация процесса-«потребителя»

Таким образом, с точки зрения генерации выхода 1 выполнение заявки не является обязательным, поэтому процесс-потребитель может начать осуществление и без него. Будем считать, что подпроцесс 2 уже не может начаться без выполнения этой заявки, и поэтому выполненная заявка будет его входом (если это не так, то, продолжая декомпозицию процессов, очевидно, получим случай, когда это утверждение будет верным). Передачу же заявки в обслуживающий процесс в рамках IDEF0 логичней всего оформить в виде вызова, который для обслуживающего процесса (и какого-то из его подпроцессов) будет уже входом, а обслуженная заявка – выходом. Эта обслуженная заявка-

выход является необходимым условием для начала осуществления подпроцесса 2 процесса-потребителя, и потому является его входом, а, следовательно, для обеспечения баланса входов и выходов на разных уровнях декомпозиции, и входом самого процесса-потребителя, необходимым для генерации выхода 2 и являющимся контуром обратной связи в ответ на вызов. Применяв эти рассуждения, получим диаграмму, показанную на рис. 6.3.6. Таким образом, заявки, являющиеся частью контура обратной связи, представлены входящими потоками процесса, и к ним применимы все приведенные выше рассуждения: на нижнем уровне декомпозиции процессы не начинают выполнение до тех пор, пока заявка этого типа не поступит на вход, а заявка, соответствующая вызову, генерируется до начала выполнения процесса; на уровнях более высоких – процесс выполняется до тех пор, пока не возникнет необходимость в выполнении заявки-вызова.

Следует сделать замечание по поводу управлений процесса. Несмотря на то, что управляющие воздействия представлены, как и заявки, входящими потоками событий, они имеют существенное отличие: во-первых, время нахождения управляющего воздействия в системе равно нулю, поскольку оно оказывает влияние на переменные состояния системы и не требует никакой «обработки»; во-вторых, они не участвуют в вычислении операционных характеристик системы как СМО.

Таким образом, получаем сеть СМО с неординарными (поскольку заявки могут поступать и группами) произвольными входящими потоками. Обслуживание поступивших в блок требований осуществляется различными устройствами, допускающими очередь неограниченной длины. Поток обслуживаний в общем случае также является произвольным, поскольку величины  $t_s$  и  $\tau_p$  случайны.

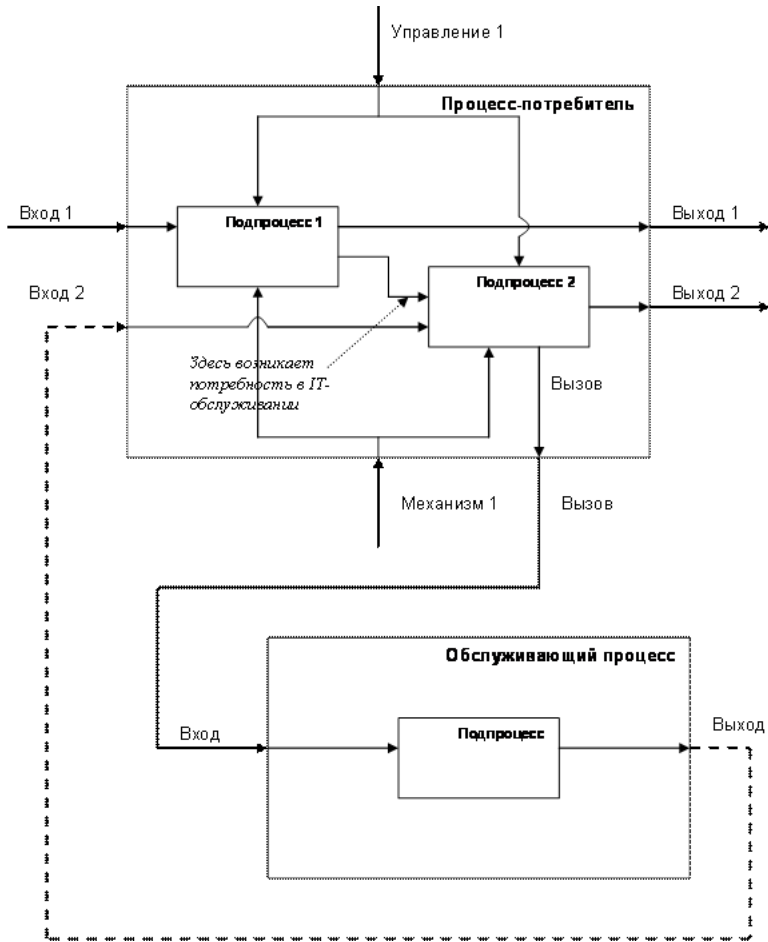


Рис. 6.3.6. Контур обратной связи в ответ на вызов (показан пунктиром)

С помощью предложенной методики преобразования модели IDEF0 удалось соблюсти основной концептуальный принцип методологии IDEF0 – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимосвязанных и взаимодействующих блоков, отражающих процессы, операции, действия, происходящие в системе. В IDEF0 каждой функции ставится в соответствие блок, в модели СМО –

это отдельная подсистема. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками, описываются входящими и исходящими потоками, причем вследствие приведенного выше замечания удастся соблюсти обязательное требование IDEF0 о том, что функция, описанная блоком, осуществляется только при выполнении условий, задаваемых входными стрелками.

Проанализируем, какие преимущества дает преобразование модели в СМО по сравнению с функциональным описанием IDEF0:

- полученная модель уже напрямую предназначена для моделирования процессов;
- с помощью полученной модели можно отразить работу процесса в динамике, отразить взаимодействие процессов и их параллельное выполнение;
- обеспечивается учет процессного аспекта при моделировании деятельности;
- возникает формальное описание бизнес-процессов, наличие возможности анализа математическими методами (впрочем, применение аналитических методов исследования подобных моделей представляется по-прежнему затруднительным, поскольку лишь для некоторых классов моделей СМО возможно вывести выражения для ключевых характеристик системы в явном виде, однако появляется возможность применения имитационного моделирования для исследования системы);
- путем введения четких правил сопоставления основных понятий и структурных элементов устраняется двусмысленность в толковании диаграмм, а также субъективный фактор при их анализе.

Полученная таким образом модель бизнес-процессов организации как СМО уже пригодна для проведения экспериментов и вычисления некоторых функциональных характеристик, связанных с наличием очередей, вынужденным ожиданием начала обслуживания, простоем приборов и т.п. С практической точки зрения она может быть полезна на этапе проектирования, позволяя оптимальным образом увязать во времени выполнение работ и процессов. В области управления бизнес-процессами модель СМО полезна для оценки управленческих решений, изменяющих структуру системы.

В то же время, управленческие решения, изменяющие структуру системы, принимаются относительно редко, тогда как задача оценки возможных последствий операционных или тактических управляющих воздействий представляется весьма актуальной. Проблема

выработки корректирующих и предупреждающих воздействий на систему для поддержания ее гомеостаза с точки зрения имеющейся системы показателей менеджмента качества, либо же разработка последней являются наиболее яркими представителями этого класса задач. Поэтому предлагается расширить СМО за счет введения дополнительных элементов: вектора характеристик поступающих на устройства обслуживания заявок и вектора состояния обслуживающих устройств.

В классической интерпретации СМО допускается рассмотрение различных типов заявок и связанных с ними сложных входных и выходных потоков (Гнеденко и Коваленко 2007). Нами предлагается рассмотрение классов заявок с бесконечным множеством представителей, различающихся между собой значениями вектора характеристик. В качестве элементов этого вектора предлагается рассматривать те характеристики заявок, которые влияют на время их обслуживания либо на характеристический вектор обслуживающих их устройств. Это позволит учесть не только временные характеристики функционирования системы, но и качество осуществления процессов. К примеру, поступившее задание на осуществление рекламной кампании может содержать перечень СМИ, в которых необходимо разместить рекламные материалы, что, очевидно, повлияет на ее разработку и осуществление. Примером второй группы характеристик может служить количество требующихся для обслуживания заявки материальных или финансовых ресурсов.

Введем обозначение

$$p_\nu = (p_{\nu 1}, \dots, p_{\nu L_\nu}), \text{ где } \nu \in \tilde{T} - \text{тип заявки; } \tilde{T} - \text{множество выде-}$$

ленных типов заявок;

$p_{\nu j}$  - значение  $j$ -й компоненты вектора характеристик  $p_\nu$  заявки  $\nu$ .

В качестве компонент характеристического вектора обслуживающих устройств рассмотрим, в первую очередь, величину, определяющую степень занятости устройства, поскольку для построения модели, пригодной для адекватного предсказания функционирования организационной системы, зачастую недостаточно двух состояний («занято»/«свободно»). Это связано с тем, что устройства обслуживания (которые представлены обычно различными структурными подразделениями) выполняют всегда несколько задач одновременно, но для рассмотрения их в качестве многоканальных устройств с двумя состояниями каналов требуется слишком подробная детализация



– до уровня отдельных операций, что далеко не всегда возможно и оправдано целями моделирования.

$$\text{Пусть } l_i = \sum_{j \in T' \subset \bar{T}} f^{j l_i}(n_j) \in [0,1]$$

- величина, характеризующая степень загруженности  $i$ -го устройства. Здесь

$n_j$  - число заявок типа  $j$ , которые находятся на обслуживании данного устройства;  $T'$  - множество типов заявок, которые может обслуживать данное устройство;  $\bar{T}$  - множество всех типов заявок;  $f^{j l_i}$  - функция, характеризующая загруженность устройства совокупностью заявок типа  $j$ , число которых  $n_j$ .

При  $l_i = 0$  устройство  $i$  полностью свободно; при  $l_i = 1$  - полностью занято. Новая заявка типа  $j_0$  принимается к обслуживанию, если

$$\sum_{j \in T' \setminus \{j_0\}} f^{j l_i}(n_j) + f^{j_0 l_i}(n_{j_0} + 1) \leq 1,$$

т.е. если добавление на устройство еще одной заявки не приведет к превышению степени его загруженности единичного значения.

Кроме этого, в качестве компонент характеристического вектора целесообразно рассмотреть управленческие воздействия на подсистемы, например, ресурсные, временные ограничения, либо же ограничения, определяющие дисциплину обслуживания. В конечном счете, все эти воздействия будут прямо или косвенно отражаться на времени обслуживания поступающих заявок. Примерами могут служить: распределение приоритетов выбора заявок из очереди в зависимости от их типа; регламентация времени, проводимого сотрудниками на работе, количественные характеристики материальных (финансовых) ресурсов, необходимых для осуществления данного процесса.

Обозначим эту группу характеристик

$$u = (u_1, \dots, u_{N_i}),$$

где  $u_j$  - значения отдельных характеристик, входящих в группу,  $N_i$  - размерность вектора  $u$  для  $i$ -го устройства.

В общем случае значения компонент этого вектора будут изменяться по мере осуществления процесса.

В качестве третьей группы компонент рассматриваются показатели процесса  $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_{M_k})$ , которые позволят оценивать функционирование системы с точки зрения системы менеджмента качества

и служить входными данными для выработки корректирующих или предупреждающих воздействий. Как и в случае предыдущей группы, природа показателей может быть весьма разнообразна, поэтому вид зависимости, определяющей значения компонент вектора  $\rho$ , имеет смысл выписывать при рассмотрении конкретного примера.

Таким образом, каждое обслуживающее устройство будет характеризоваться вектором  $x_i^t = (l_i^t, u_i^t, \rho_i^t)$  размерности  $N_i + M_i + 1$ .

Рассмотрим теперь пример использования приведенных рассуждений для построения упрощенной модели бизнес-процесса «Реализовать объект недвижимости», входящего в группу основных бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации. На рис. 6.3.7 представлена схема этого процесса:



Рис. 6.3.7. Схема процесса «Реализовать объект недвижимости»

Соответствующий оргграф будет иметь вид:

$$G = \langle M, U, f \rangle, \text{ где}$$

$M = \{m_1, m_2, \dots, m_{15}\}$  - множество вершин;

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_{14}\}$  - множество дуг;

$f$  - отображение инцидентности, такое, что

$$f(u_1) = (m_1, m_{15}); f(u_2) = (m_2, m_{15}); f(u_3) = (m_3, m_{15}); f(u_4) = (m_4, m_{15});$$

$$f(u_5) = (m_5, m_{15}); f(u_6) = (m_6, m_{15}); f(u_7) = (m_7, m_{15}); f(u_8) = (m_8, m_{15});$$

$$f(u_9) = (m_{15}, m_9); f(u_{10}) = (m_{15}, m_{10}); f(u_{11}) = (m_{15}, m_{11}); f(u_{12}) = (m_{15}, m_{12});$$

$$f(u_{13}) = (m_{15}, m_{13}); f(u_{14}) = (m_{15}, m_{14}).$$

$$\underline{M} = \{m_{15}\}; \overline{M} = M \setminus \{m_{15}\}; \overline{M}' = \{m_1, m_2, \dots, m_7\};$$

$$\overline{M}'' = \{m_8\}; \overline{M}''' = \{m_9, m_{10}, \dots, m_{14}\}; \overline{M}' = \overline{M}'' = \overline{M}''' = \{m_{15}\}.$$

$$\overline{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_{14}\}; \underline{U} = \emptyset; \overline{U}' = \{u_1, u_2, \dots, u_7\}; \overline{U}'' = \{u_8\};$$

$$\overline{U}''' = \{u_9, u_{10}, \dots, u_{14}\}.$$

$$A = I_{8 \times 6}.$$

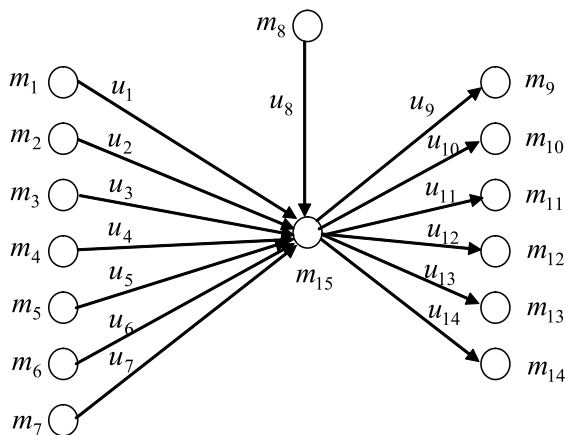


Рис. 6.3.8. Граф, соответствующий процессу

Итак, процесс «Реализовать объект недвижимости» имеет:

- $N = 7$  входов: 1. Рабочая проектная документация; 2. Рекламная продукция; 3. Шаблоны форм оценки эффективности рекламной кампании; 4. Пакет юридических документов; 5. Эскизный проект; 6. Пожелания клиентов; 7. Договор с застройщиком о выполнении девелопером агентских функций.

•  $K = 6$  выходов: 1. Отчет о ходе продаж; 2. Заключенные договоры; 3. Пакет документов для регистрации в юстиции; 4. Эффективность рекламной кампании; 5. Задание на внесение изменений в объект в соответствии с пожеланиями клиента; 6. Документы, подтверждающие факт оплаты по договору.

- $L = 1$  управление: 1. Ценовая политика организации.
- Механизм – отдел маркетинга.

Тогда  $\{z_{i1}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Рабочая проектная документация»;  $\{z_{i2}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Рекламная продукция»;  $\{z_{i3}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Шаблоны форм оценки эффективности рекламной кампании»;  $\{z_{i4}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Пакет юридических документов»;  $\{z_{i5}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Эскизный проект»;  $\{z_{i6}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Пожелания клиентов»;  $\{z_{i7}, i \geq 1\}$  - входящий поток заявок «Договор с застройщиком о выполнении девелопером агентских функций»;  $\{u_{i1}, i \geq 1\}$  - исходящий поток заявок «Отчет о ходе продаж»;  $\{u_{i2}, i \geq 1\}$  - исходящий поток заявок «Заключенные договоры»;  $\{u_{i3}, i \geq 1\}$  - исходящий поток заявок «Пакет документов для регистрации в юстиции»;  $\{u_{i4}, i \geq 1\}$  - исходящий поток заявок «Эффективность рекламной кампании»;  $\{u_{i5}, i \geq 1\}$  - исходящий поток заявок «Задание на внесение изменений в объект в соответствии с пожеланиями клиента»;  $\{u_{i6}, i \geq 1\}$  - исходящий поток заявок «Документы, подтверждающие факт оплаты по договору»;  $\{w_{i1}, i \geq 1\}$  - поток поступления управляющих воздействий «Ценовая политика организации», и

$$\Phi' = \{z_{in}, i \geq 1\}_{n=1}^7; \Phi'' = \{u_{ik}, i \geq 1\}_{k=1}^6; \Phi''' = \{z_{il}, i \geq 1\}_{n=1}^1.$$

Соответствие потоков дугам:

$g(u_1) = (\{z_{i1}, i \geq 1\}, \{\{z_{i1}, i \geq 1\}\})$ , поскольку он выходит из фиктивного узла, исходящий поток которого равен входящему потоку узла, который является концом рассматриваемой дуги;

$$g(u_2) = (\{z_{i2}, i \geq 1\}, \{\{z_{i2}, i \geq 1\}\});$$

$$\dots g(u_7) = (\{z_{i7}, i \geq 1\}, \{\{z_{i7}, i \geq 1\}\});$$

$$g(u_8) = (\{w_{i1}, i \geq 1\}, \{\{w_{i1}, i \geq 1\}\});$$

$$g(u_9) = (\{u_{i1}, i \geq 1\}, \{\{u_{i1}, i \geq 1\}\});$$

...

$$g(u_{14}) = (\{u_{i14}, i \geq 1\}, \{\{u_{i14}, i \geq 1\}\}).$$

Множество устройств обслуживания  $\Xi = \{\zeta_1\}$ , поскольку  $S = 1$ . Поскольку рассматриваем только один процесс, то  $c_1 = 1$ .

Соответствие устройств обслуживания узлам сети  $h$  определяется следующим образом:

$$h(m_1) = h(m_2) = \dots = h(m_{14}) = \emptyset; h(m_{15}) = \zeta_1.$$

Устройство имеет очереди длиной  $q_{i1}, i = 1, \dots, Q_1$ , где  $Q_1 = 8$ , но  $q_{81} = 0$ , поскольку она соответствует управляющему воздействию.

Для определения соответствия входящих/исходящих потоков рассмотрим детализацию процесса (рис. 6.3.9).

Декомпозиция механизма «Отдел маркетинга» дает нам механизмы осуществления дочерних процессов:

- Специалист по работе с клиентами;
- Специалист по рекламе;
- Специалист по проектам;
- Начальник отдела маркетинга.

Цифрами на рисунке обозначены входы (1, 2, ... 7) и выходы (1, 2, ..., 6) процесса. В таблице 6.3.1 приведено соответствие номеров входов и выходов дочерних процессов (обычный шрифт) и номеров входов и выходов родительского процесса (обозначены полужирным).

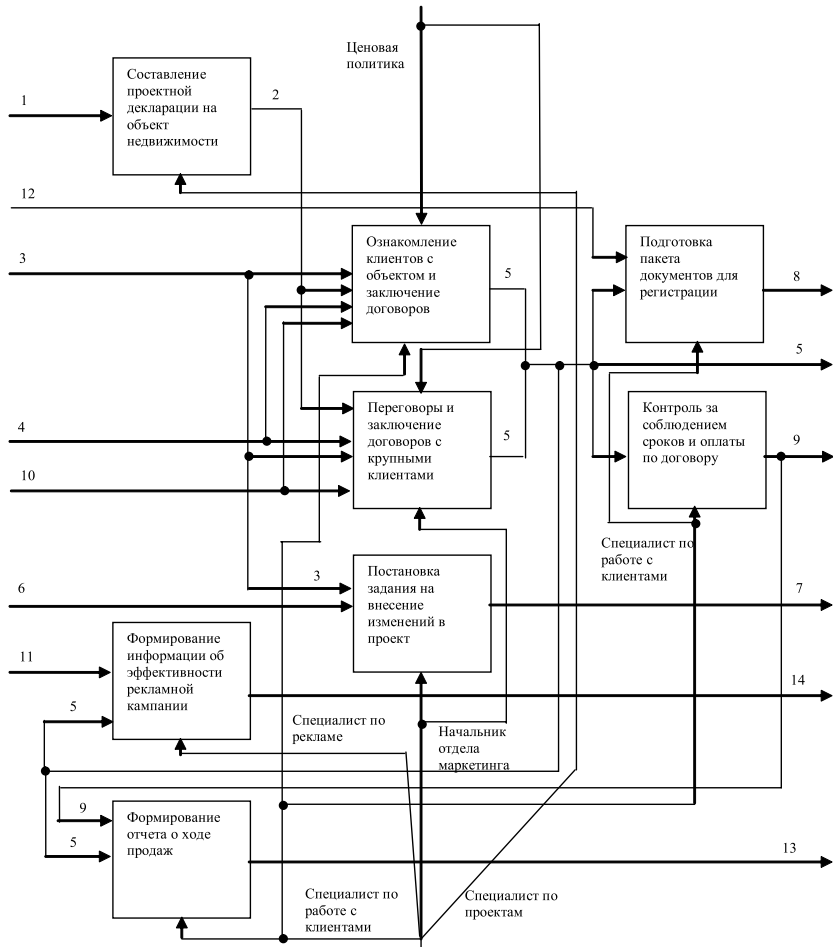


Рис. 6.3.9. Детализация процесса «Реализовать объект недвижимости»

Табл. 6.3.1

Входы

1	2	3	4	5	6	7
3	10	11	12	4	6	1

Выходы

1	2	3	4	5	6
13	5	8	14	7	9

Соответствующий этой сети граф имеет вид

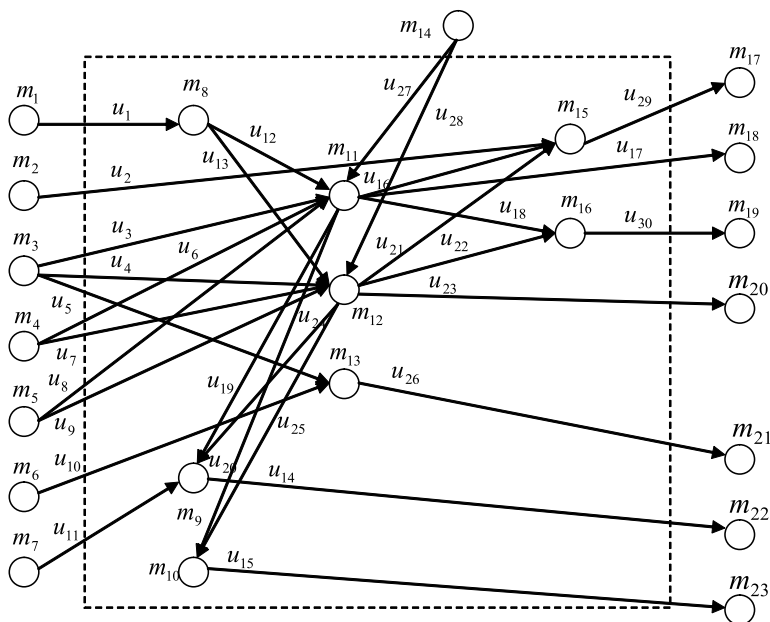


Рис. 6.3.10. Граф декомпозированного процесса  
«Реализовать объект недвижимости»

Соответствующий оргграф будет иметь вид:

$G = \langle M, U, f \rangle$ , где

$M = \{m_1, m_2, \dots, m_{23}\}$  - множество вершин;

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_{30}\}$  - множество дуг;

$f$  - отображение инцидентности, такое, что:

$f(u_1) = (m_1, m_8)$ ;  $f(u_2) = (m_2, m_{15})$ ;  $f(u_3) = (m_3, m_{11})$ ;

$f(u_4) = (m_3, m_{12})$ ;  $f(u_5) = (m_3, m_{13})$ ;  $f(u_6) = (m_4, m_{11})$ ;

$f(u_7) = (m_4, m_{12})$ ;  $f(u_8) = (m_5, m_{11})$ ;  $f(u_9) = (m_5, m_{12})$ ;

$f(u_{10}) = (m_6, m_{13})$ ;  $f(u_{11}) = (m_7, m_9)$ ;  $f(u_{12}) = (m_8, m_{11})$ ;

$f(u_{13}) = (m_8, m_{12})$ ;  $f(u_{14}) = (m_9, m_{22})$ ;  $f(u_{15}) = (m_{10}, m_{23})$ ;

$f(u_{16}) = (m_{11}, m_{15})$ ;  $f(u_{17}) = (m_{11}, m_{18})$ ;  $f(u_{18}) = (m_{11}, m_{16})$ ;

$$\begin{aligned}
 f(u_{19}) &= (m_{11}, m_9); & f(u_{20}) &= (m_{11}, m_{10}); & f(u_{21}) &= (m_{12}, m_{15}); \\
 f(u_{22}) &= (m_{12}, m_{16}); & f(u_{23}) &= (m_{12}, m_{20}); & f(u_{24}) &= (m_{12}, m_9); \\
 f(u_{25}) &= (m_{12}, m_{10}); & f(u_{26}) &= (m_{13}, m_{21}); & f(u_{27}) &= (m_{14}, m_{11}); \\
 f(u_{28}) &= (m_{14}, m_{12}); & f(u_{29}) &= (m_{15}, m_{17}); & f(u_{30}) &= (m_{16}, m_{19}).
 \end{aligned}$$

$$\underline{M} = \{m_8, m_9, m_{10}, m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{15}, m_{16}\};$$

$$\underline{M}' = M \setminus \underline{M};$$

$$\underline{M}'' = \{m_1, m_2, \dots, m_7\};$$

$$\underline{M}''' = \{m_{14}\};$$

$$\underline{M}^{iv} = \{m_{17}, m_{18}, \dots, m_{23}\};$$

$$\underline{M}^v = \{m_8, m_9, m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{15}\};$$

$$\underline{M}^{vi} = \{m_{11}, m_{12}\};$$

$$\underline{M}^{vii} = \{m_9, m_{10}, m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{15}, m_{16}\}.$$

$$\bar{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_{11}, u_{14}, u_{15}, u_{17}, u_{23}, u_{26}, u_{27}, u_{28}, u_{29}, u_{30}\};$$

$$\bar{U}' = \{u_{12}, u_{13}, u_{16}, u_{18}, u_{19}, u_{20}, u_{21}, u_{22}, u_{24}, u_{25}\};$$

$$\bar{U}'' = \{u_1, u_2, \dots, u_{11}\};$$

$$\bar{U}''' = \{u_{27}, u_{28}\};$$

$$\bar{U}^{iv} = \{u_{14}, u_{15}, u_{17}, u_{23}, u_{29}, u_{30}\}.$$

Матрица соответствия входов и выходов будет иметь вид

$$A = \begin{pmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{pmatrix}.$$

$\Phi' = \{z_{in}, i \geq 1\}_{n=1}^{18}$  - входящие потоки требований всех узлов сети;



$\Phi'' = \{u_{ik}, i \geq 1\}_{k=1}^8$  - исходящие потоки требований всех узлов сети;

$\Phi''' = \{w_{il}, i \geq 1\}_{l=1}^2$  - потоки событий поступления управляющих воздействий на все узлы сети;

$\Phi = \Phi' \cup \Phi'' \cup \Phi'''$  - множество всех потоков системы.

Зададим соответствие потоков дугам:

$g(u_1) = (\{z_{i1}, i \geq 1\}, \{z_{i1}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_2) = (\{z_{i2}, i \geq 1\}, \{z_{i2}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_3) = (\{z_{i3}, i \geq 1\}, \{z_{i3}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_4) = (\{z_{i9}, i \geq 1\}, \{z_{i9}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_5) = (\{z_{i11}, i \geq 1\}, \{z_{i11}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_6) = (\{z_{i5}, i \geq 1\}, \{z_{i5}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_7) = (\{z_{i8}, i \geq 1\}, \{z_{i8}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_8) = (\{z_{i6}, i \geq 1\}, \{z_{i6}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_9) = (\{z_{i10}, i \geq 1\}, \{z_{i10}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{10}) = (\{z_{i12}, i \geq 1\}, \{z_{i12}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{11}) = (\{z_{i13}, i \geq 1\}, \{z_{i13}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{12}) = (\{z_{i4}, i \geq 1\}, \{u_{i1}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{13}) = (\{z_{i7}, i \geq 1\}, \{u_{i1}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{14}) = (\{u_{i2}, i \geq 1\}, \{u_{i2}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{15}) = (\{u_{i3}, i \geq 1\}, \{u_{i3}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{16}) = (\{z_{i17}, i \geq 1\}, \{u_{i14}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{17}) = (\{u_{i4}, i \geq 1\}, \{u_{i4}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{18}) = (\{z_{i18}, i \geq 1\}, \{u_{i4}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{19}) = (\{z_{i14}, i \geq 1\}, \{u_{i4}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{20}) = (\{z_{i16}, i \geq 1\}, \{u_{i4}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{21}) = (\{z_{i17}, i \geq 1\}, \{u_{i5}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{22}) = (\{z_{i18}, i \geq 1\}, \{u_{i5}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{23}) = (\{u_{i5}, i \geq 1\}, \{u_{i5}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{24}) = (\{z_{i14}, i \geq 1\}, \{u_{i5}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{25}) = (\{z_{i16}, i \geq 1\}, \{u_{i5}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{26}) = (\{u_{i6}, i \geq 1\}, \{u_{i6}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{27}) = (\{w_{i1}, i \geq 1\}, \{w_{i1}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{28}) = (\{w_{i2}, i \geq 1\}, \{w_{i2}, i \geq 1\})$ ;

$g(u_{29}) = (\{u_{i7}, i \geq 1\}, \{u_{i7}, i \geq 1\})$ ;  $g(u_{30}) = (\{u_{i8}, i \geq 1\}, \{u_{i8}, i \geq 1\})$ .

$\Xi = \{\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4\}$ ,  $S = 4$  - множество устройств обслуживания,  $S$  - число устройств. Число каналов  $C_1 = 4$ ;  $C_2 = 1$ ;  $C_3 = 2$ ;  $C_4 = 1$ .

Соответствие устройств обслуживания узлам сети задается на графе отображением  $h: M \rightarrow \Xi$ :

$h(m_1) = \emptyset$ ;  $h(m_2) = \emptyset$ ; ...;  $h(m_7) = \emptyset$ ;  $h(m_8) = \zeta_4$ ;  $h(m_9) = \zeta_2$ ;

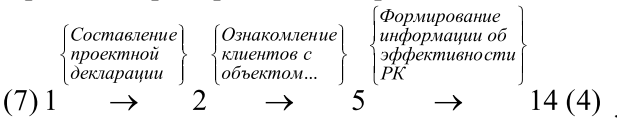
$h(m_{10}) = \zeta_1$ ;  $h(m_{11}) = \zeta_1$ ;  $h(m_{12}) = \zeta_3$ ;  $h(m_{13}) = \zeta_3$ ;  $h(m_{14}) = \emptyset$ ;

$h(m_{15}) = \zeta_1$ ;  $h(m_{16}) = \zeta_1$ .

Дисциплины очередей могут быть произвольными, в рамках данной работы рассматривается множество дисциплин

$D = \{ "FIFO", "LIFO", "С приоритетами" \}$ .

Приведем пример цепочки переходов заявок:



Цифрами обозначены номера входов и выходов дочерних процессов, входящих в цепочку, в скобках для удобства даны номера соответствующих входов и выходов родительского процесса.

Тогда имеем соотношения

$$\begin{aligned} t'_4 = t'_{14} &= \max \{t'_5 + \hat{t}_5, t_{11} + \hat{t}_{11}\} + \tau_{14} = \\ &= \max \{ \max \{t'_2 + \hat{t}_2; t_{10} + \hat{t}_{10}, t_4 + \hat{t}_4, t_3 + \hat{t}_3\} + \tau_5 + \hat{t}_5, t_{11} + \hat{t}_{11} \} + \tau_{14} = \\ &= \max \{ \max \{t_1 + \hat{t}_1 + \tau_2 + \hat{t}_2; t_{10} + \hat{t}_{10}, t_4 + \hat{t}_4, t_3 + \hat{t}_3\} + \tau_5 + \hat{t}_5, t_{11} + \hat{t}_{11} \} + \tau_{14} \end{aligned}$$

Выбор функций распределения случайных величин  $\tau_i$  является вопросом структурной и численной идентификации модели.

В качестве примера вектора характеристик заявки рассмотрим вектор, характеризующий заявку 11 (3-й вход родительского процесса) «Шаблоны форм оценки эффективности рекламной кампании».

Введем

$p_{31}$  - число показателей оценки эффективности РК в шаблоне;

$p_{32} = (p_{32}^1, p_{32}^2, \dots, p_{32}^{p_{31}})$  - численная оценка трудоемкости вычисления показателей оценки;

$p_{33} = (p_{33}^1, p_{33}^2, \dots, p_{33}^{p_{31}})$  - затраты на вычисление показателей оценки (включая, например, приобретение образцов медиапродукции).

Тогда  $p_3 = (p_{31}, p_{32}, p_{33})$  - вектор характеристик заявки 3.

Далее, рассмотрим показатель степени загрузки специалиста по рекламе  $l = f^{11}_l(n_{11}) + f^5_l(n_5)$ , где  $n_{11}$  и  $n_5$  - число заявок типа 11 (Шаблоны форм оценки эффективности рекламной кампании) и 5 (Заключенные договоры на обслуживание).

Приведенные выше величины логично будет учесть при выборе функции распределения времени обслуживания в качестве параметров числовых характеристик:

$$\tau_3 \sim F_3(\theta_1(l, p_{32}, p_{33}), \theta_2(l, p_{32}, p_{33}), \dots, \theta_\Phi(l, p_{32}, p_{33}))$$

В качестве компонент вектора  $u$  выберем

$u_1$  - остаток средств, выделенных в рамках текущего бюджета на оценку эффективности рекламной кампании;

$u_2$  - пороговое значение суммарной трудоемкости вычисления показателей, определяющее приоритет заявок друг перед другом.

Иначе говоря, если у поступившей заявки  $\sum_{k=1}^{p_{31}} p_{32}^k \geq u_2$ , то такую заявку следует обслужить в первую очередь.

Наконец, в качестве показателей выберем

$\rho_1$  - отклонение (абсолютное) от графика предоставления информации об эффективности РК;

$\rho_2$  - точность оценки показателей.

Таким образом, управляющие воздействия на процесс могут влиять на операционные характеристики его дочерних процессов, представленных в модели системами массового обслуживания.

Построенная модель является с точки зрения родительского процесса многоканальной СМО со сложными нерекуррентными входящим и исходящим потоками, а с точки зрения дочерних процессов – сетью одноканальных СМО с неограниченной очередью и несчетным множеством состояний обслуживающих устройств. Она позволяет оценивать влияние управляющих воздействий на систему с точки зрения системы менеджмента качества путем отслеживания как функциональных характеристик СМО, так и непосредственно самих показателей, связанных с обслуживающими устройствами.

Задача подобной оценки, решаемая с помощью предложенной модели, может быть как прямой – определить реакцию системы показателей в ответ на выбранное управление, так и обратной – определение такого набора управляющих воздействий, при котором показатели или функциональные характеристики системы находились бы в заданной области. Комбинация методов решения этих задач позволяет: а) вырабатывать корректирующие воздействия при отклонении системы показателей от нормы; б) определять стратегию управления, которая позволила бы в долгосрочном плане удерживать значения показателей качества в желаемой области; в) составить систему показателей и определить те их значения, которые отвечают целям и задачам устойчивого развития организации.

---

Предложенная методика построения дискретно-событийной модели бизнес-процессов с использованием аппарата СМО на основе IDEF0 является достаточно универсальной и может применяться для моделирования бизнес-процессов любой организации.

## **ГЛАВА 7. КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Практическая реализация технологий управления устойчивым развитием организаций требует использования компьютерных информационных систем. Корпоративные информационные системы обеспечивают автоматизацию управления предприятием на основе современных информационных технологий. Понятие корпоративной информационной системы (КИС) является продуктом достаточно длительной эволюции, начиная со второй половины прошлого столетия. В ходе этой эволюции определены требования к КИС, выработан ряд стандартов для КИС, таких как MRP, MRP II, ERP, CRP и другие, накоплен опыт их внедрения. Современное понятие КИС включает в себя не только программные средства комплексной автоматизации управленческих процессов и документооборота, но и программную реализацию анализа данных, мониторинга и прогнозирования на основе математического моделирования. Здесь используется целый ряд концепций, среди которых следует назвать хранилища данных (Data Warehouse), OLAP-технологии, технологии извлечения данных (Data Mining), имитационные и экспертные системы. В первом параграфе главы дается обзор указанных концепций, в качестве примеров приводятся имитационная система моделирования бизнес-процессов как системы массового обслуживания и экспертная система поддержки продаж недвижимости.

Во втором параграфе главы излагается авторская концепция корпоративной информационно-моделирующей системы (КИМС) поддержки управления организациями и территориями, рассматриваются структура и функции КИМС, дается описание технологии управления устойчивым развитием организации на основе КИМС.

### **7.1. Корпоративные информационные системы и их моделирующие компоненты**

Корпоративная информационная система (КИС) – это компьютерная система, предназначенная для комплексной автоматизации хозяйственной деятельности больших и средних предприятий, в первую очередь корпораций, в том числе объединяющих несколько

компаний, требующих единого управления. Обычно считается, что КИС может называться система, автоматизирующая более 80% подразделений предприятия. Обязательными требованиями для КИС являются: использование архитектуры клиент-сервер с возможностью применения промышленных систем управления базами данных; обеспечение безопасности методами контроля и разграничения доступа к информации; поддержка распределенной обработки информации; модульный принцип построения из оперативно-независимых функциональных блоков с расширением за счет открытых стандартов (API, COM и другие); поддержка технологий Internet/Intranet; эксплуатационные характеристики, такие как легкость администрирования, эргономичность, наличие локализованного интерфейса.

Наиболее органичным и эффективным способом построения КИС, при котором выполняются вышеперечисленные функции и требования к технологичности, является использование в качестве ядра всего информационного комплекса системы автоматизации бизнес-процессов. Такой подход объясняется тем, что деятельность любой организации фактически представляет собой совокупность выработанных в повседневной практике бизнес-процессов, в которые вовлечены финансовые, материальные, кадровые, информационные и прочие виды ресурсов. Именно деловые процессы определяют порядок взаимодействия отдельных сотрудников и целых отделов, а также принципы построения информационных систем.

В течение нескольких десятилетий разработки и внедрения выработан ряд стандартов для КИС, таких как MRP, MRP II, CRP, ERP, CSRP и другие. До настоящего времени основным стандартом КИС остается ERP (Enterprise Resource Planning), т.е. система планирования ресурсов предприятия. Концепция ERP - создания единого хранилища данных (репозитория), содержащего всю деловую информацию, накопленную организацией в процессе ведения бизнеса. Наличие репозитория избавляет от необходимости передавать данные от приложения к приложению. Кроме того, любая часть информации, которой располагает данная организация, становится одновременно доступной для всех сотрудников, обладающих соответствующими полномочиями.

Основным назначением ERP-систем является автоматизация процессов планирования, учета и управления по основным направлениям деятельности предприятия, поэтому системы планирования ресурсов предприятия в общих чертах можно рассматривать как интегрированную совокупность основных подсистем, таких как управ-

ление финансами, управление материальными потоками, управление производством, управление проектами, управление сервисным обслуживанием, управление качеством, управление персоналом. Приведенный перечень функциональных подсистем не может считаться полным, а просто отражает основные направления деятельности предприятия. Каждая из перечисленных подсистем может включать в себя функциональные блоки, которые также могут быть оформлены в виде отдельных подсистем. Например, подсистема управления материальными потоками, как правило, включает в себя функционально законченный блок «Управление транспортом» для составления графиков и транспортных схем доставки, планирования и управления транспортом. В то же время подсистемы управления материальными потоками, производством/проектами, сервисным обслуживанием формируют в совокупности информационную логистическую систему предприятия (логистика снабжения, хранения, транспортная логистика, производственная логистика, логистика сбыта и т.д.)

В качестве ресурсов для планирования рассматриваются: денежные средства, материально-технические ресурсы, мощности (станки и оборудование, склады и места хранения, транспортные единицы, трудовые ресурсы и т.д.) Большинство из указанных подсистем обладает функциональностью, позволяющей осуществить планирование материально - технических ресурсов и мощностей и генерировать соответствующие потребности в денежных ресурсах. ERP-системы состоят из большого числа программных модулей, которые могут быть приобретены отдельно и помогут в управлении многими видами деятельности в различных функциональных областях бизнеса. К их числу относятся модули продаж и дистрибуции, финансового учета и контроллинга, планирования производства (включая MRP и CRP), управления основными активами, персоналом, материалами, качеством, проектами, эксплуатацией производственных мощностей (Plant Maintenance), оперативного управления исполнением производственных заказов (Workflow), отраслевые решения (Industry Solutions).

Применение методологии ERP становится стандартным. Производители, которые надеются иметь успех при возрастающей конкуренции на рынке, должны активно использовать ERP просто для того, чтобы соответствовать производственной эффективности конкурентов. Использование ERP содействует объединению, сокращению ошибок, уменьшению числа ненужных операций, улучшает способности к прогнозу и планированию, что может обеспечить

значительное сокращение издержек и улучшение процесса производства. ERP-системы обеспечивают комплексную автоматизацию управления предприятием. Преимущества ERP-систем заключаются в следующем: руководители организации и ее персонал получают инструмент, позволяющий реально планировать и управлять производством; обеспечивается охват практически всех видов деятельности, всех бизнес-процессов предприятия, управление всеми ресурсами; ERP-системы обеспечивают стыковку с CAD/CAM системами, что позволяет получить интегрированное решение, объединяющее разработки, производство и поставки; системы класса ERP ориентированы на работу с финансовой информацией для решения задач управления большими корпорациями с территориально распределенными ресурсами. Базовая система ERP включает в себя пакеты прикладных программ для решения задач управления, средства комплексирования задач в требуемые конфигурации, средства сопряжения с другими системами, например, с САПР, и многое другое. Базовая система позволяет создавать для предприятия гибкую модифицируемую автоматизированную систему управления производством (АСУП), в которой сочетаются типовые подходы к решению задач управления и специфические особенности предприятия. Понятие ERP определило производственные правила игры - производители знают, что фундаментальные производственные стандарты могут привести к предсказуемым, эффективным операциям<sup>3</sup>.

Современная точка зрения трактует КИС в широком смысле. С этой точки зрения, в состав КИС должны входить программные продукты, по крайней мере, трех классов:

- комплексные системы управления предприятием (автоматизированные информационные системы поддержки принятия управленческих решений),

- системы электронного документооборота,

- продукты, позволяющие создавать модели функционирования организации, проводить анализ и оптимизацию ее деятельности. Сюда же можно отнести системы класса АСУТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами) и САПР (системы автоматизации проектирования), продукты интеллектуального анализа данных.

При всей общности каждое предприятие имеет свою специфику (предметную часть), которая зависит от профиля деятельности предприятия, поэтому выбор специализированных информационных систем в значительной степени зависит от этой специфики. Например,

<sup>3</sup> [www.itstan.ru](http://www.itstan.ru)



для компаний, связанных с добычей нефти, в составе ИС важно иметь геоинформационные системы (ГИС). Для промышленных предприятий - системы автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (CAD/CAM /CAE/PDM). Для экономических служб желательно иметь системы финансового анализа, планирования и прогнозирования, для коммерческих - системы учета клиентов и т.д. При этом могут быть использованы старые наработки (например, бухгалтерия, система регистрации товара на складе и т.д.), интеграция которых в КИС будет не слишком трудоемка. Не исключено, что потребуется разработка отдельных специализированных компонентов и интеграция их в единую систему.

Некоторая часть КИС определяется такими характеристиками, как масштаб организации и объемы информационных работ. С их увеличением становится актуальным внедрение специализированных модулей делопроизводства и архивного хранения, которые способны поддерживать крупные электронные архивы смешанной документации с обеспечением необходимого уровня надежности и безопасности хранения информации.

В современном понимании в состав КИС в широком смысле могут входить:

- система управления ресурсами предприятия (ERP-система);
- система управления распределенной логистикой (SCM-система);
- система управления закупками, продажами и послепродажным обслуживанием;
- система управления данными об изделиях на производственных предприятиях (PDM);
- CAD/CAM/CAE-система;
- система электронного документооборота (DocFlow);
- система организации рабочего пространства (Workflow);
- среда Internet / Intranet;
- система электронной коммерции (e-commerce);
- система управления информационными ресурсами;
- система хранилища данных (Data Warehouse);
- система анализа данных OLAP;
- система извлечения данных (Data Mining);
- система представления данных для анализа руководством (MIS);
- специализированные рабочие места автономных пользователей;
- системы моделирования и представления бизнес-процессов;
- системы математического и имитационного моделирования процессов;
- системы математического (в том числе статистического) анализа

данных

- специализированные продукты или системы для реализации частных задач,

причем каждая из компонент также может быть достаточно сложной и состоять из нескольких программных продуктов и методов управления ими. Следует обратить особое внимание на то, что ряд вышеперечисленных компонент КИС сформировался только в последнее время, а ряд еще продолжает формироваться. Вряд ли в такой ситуации хотя бы один продукт может претендовать на возможность единолично реализовать весь комплекс задач, относящийся к ведению КИС. Более того, даже на полноценное решение первых двух задач во всех без исключения случаях не может претендовать ни один продукт, включая знаменитый Oracle SAP R/3<sup>4</sup>.

Система электронного документооборота (СЭД) - это система автоматизации работы с информационными документами на протяжении всего их жизненного цикла (создание, изменение, хранение, поиск, классификация и пр.), а также процессов взаимодействия между сотрудниками. При этом под документами в первую очередь подразумеваются неструктурированные электронные документы (файлы Word, Excel и пр.). Как правило, СЭД включает в себя электронный архив документов и систему автоматизации бизнес-процессов и поддержку функциональности делопроизводства. Системы электронного документооборота формируют новое поколение систем автоматизации предприятий. Основными объектами автоматизации в таких системах являются документы в самом широком их понимании, от обычных бумажных до электронных любого формата и структуры, и бизнес-процессы, представляющие как движение документов, так и их обработку. Такой подход к автоматизации предприятий является одновременно конструктивным и универсальным, обеспечивая автоматизацию документооборота и всех бизнес-процессов предприятия в рамках единой концепции и единого программного инструментария. Несколько примеров приложений автоматизации документооборота: регистрация корреспонденции (входящие, исходящие); электронный архив документов; контроль исполнения документов и поручений; автоматизация договорного процесса; библиотека регламентов управленческих процедур; оформление командировок; организация внутреннего информационного портала предприятия и его подразделений; система контроля выполнения должностных инструкций и т.п.

---

<sup>4</sup> [www.itstan.ru](http://www.itstan.ru)

В основе концепции хранилища данных (Data Warehouse) лежит идея разграничения данных для оперативной обработки и для решения задач анализа. Первое подробное описание этой концепции дал в 1992 году У.Инмон (Inmon 2002), который определил хранилище данных как интегрированный, предметно-ориентированный, неизменяемый, поддерживающий хронологию набор данных, организованный для целей поддержки решений. Согласно этому определению, принципиальные отличия хранилища данных (ХД) от оперативных баз данных (ОБД) состоят в следующем.

1.Предметная ориентация. Различные ОБД содержат данные, характеризующие организацию с разных точек зрения (управление персоналом, бухгалтерский учет, складская логистика и т.п.), в то время как в ХД реализуется единый подход ко всем организационным данным. Кроме того, предметная ориентация позволяет хранить в ХД лишь те атрибуты данных, которые требуются для их последующего анализа, что сокращает затраты и повышает безопасность доступа к данным.

2.Интеграция. Разнородные данные из различных ОБД приводятся в ХД к единому формату, что облегчает последующий анализ.

3.Поддержка хронологии. Данные в ОБД используются для текущих нужд, поэтому могут не иметь привязки ко времени. В ХД помещаются исторические данные, снабженные обязательным временным атрибутом.

4.Неизменяемость. Данные в ОБД постоянно актуализируются и по возможности быстро удаляются в целях экономии места. В отличие от этого, данные в ХД могут только читаться, что обеспечивает архивное хранение хронологически упорядоченных данных.

Разработка ХД связана со следующими проблемами:

- необходимость интеграции данных из неоднородных источников в распределенной среде;
- потребность в эффективных методах хранения и обработки массивов информации очень большого объема;
- необходимость многоуровневых справочников метаданных (каталогов хранимых данных);
- повышение требований к безопасности данных, дающих целостную историческую картину функционирования организации.

ХД включают детальные, агрегированные, архивные данные и метаданные. Детальные данные подразделяются на измерения (наборы данных, необходимые для описания событий) и факты (данные, отражающие сущность события). Агрегированные данные формиру-

ются из детальных путем суммирования по измерениям. Для повышения скорости доступа агрегированные данные хранятся в ХД, а не генерируются каждый раз при выполнении запроса. Метаданные снабжают пользователя информацией о хранимых данных. Согласно принципам Дж.Захмана, метаданные должны описывать моделируемые объекты предметной области, пользователей, места хранения данных, действия над ними, время обработки и причины модификации данных.

Важнейшей задачей переноса данных из ОБД в ХД является их очистка, которая включает следующие этапы: выявление проблем в данных, определение правил очистки и их тестирование, собственно очистка. Очищенные данные хранятся в ХД и используются для анализа и принятия решений на его основе (Методы и модели 2004).

В процессе анализа данных и поиска решений часто возникает необходимость в построении зависимостей между переменными, число которых может быть достаточно велико. Наиболее распространенная реляционная модель организации данных плохо подходит для решения этой задачи. Поэтому в 1993 году основоположник реляционного подхода Э.Кодд, отметив недостатки своей модели, предложил концепцию OLAP (On-Line Analytical Processing) – технологии оперативной аналитической обработки данных для их многомерного анализа (Codd et al. 1993). Кодд предложил двенадцать правил, определяющих сущность OLAP –технологии: 1) многомерность; 2) прозрачность; 3) доступность; 4) постоянная производительность при разработке отчетов; 5) клиент-серверная архитектура; 6) равноправие измерений; 7) динамическое управление разреженными матрицами; 8) поддержка многопользовательского режима; 9) неограниченные перекрестные операции; 10) интуитивная манипуляция данными; 11) гибкие возможности получения отчетов; 12) неограниченная размерность и число уровней агрегации.

В 1995 году с учетом накопленного опыта были добавлены еще шесть правил: 13) пакетное извлечение против интерпретации; 14) поддержка всех моделей OLAP –анализа; 15) обработка ненормализованных данных; 16) хранение результатов OLAP отдельно от исходных данных; 17) исключение отсутствующих значений; 18) обработка отсутствующих значений.

OLAP-система включает в себя два основных компонента: OLAP-сервер и OLAP-клиент. OLAP-сервер обеспечивает хранение данных, выполнение над ними необходимых операций и формирование многомерной модели данных на концептуальном уровне. В настоящее время OLAP-сервер обычно объединяют с хранилищем данных.

OLAP-серверы скрывают от пользователя детали физической реализации многомерной модели данных. Они формируют «гиперкуб», с которым пользователи посредством OLAP-клиента выполняют все необходимые операции анализа данных. Тем не менее, способ реализации важен, т.к. он определяет производительность и требуемые ресурсы. Выделяют три основных способа реализации: MOLAP - на основе многомерных баз данных. Преимуществом этого подхода является высокая производительность и простота использования встроенных функций; ROLAP – на основе реляционных баз данных. Его достоинствами являются возможность работы с имеющимися реляционными базами данных, более экономичное использование ресурсов и гибкость при добавлении новых измерений; HOLAP - синтез обоих подходов. OLAP-клиент предоставляет пользователю удобный интерфейс для работы с многомерной моделью данных (Методы и модели 2004).

Методы интеллектуального анализа данных позволяют извлечь с помощью компьютера новую, доселе не известную информацию. Это направление получило название Data Mining (добыча, извлечение данных). Основными задачами этого направления являются классификация, регрессия, поиск ассоциативных правил и классификация. Задача классификации состоит в отнесении объекта к одному из заранее известных классов. В задаче регрессии требуется определить значение некоторого параметра объекта по известным его характеристикам. Эти задачи являются предсказательными и могут быть объединены в задачу нахождения значения зависимой переменной объекта по его независимым переменным. Если зависимая переменная принимает численные значения, то можно говорить о регрессии, в противном случае – о классификации. При поиске ассоциативных правил целью является нахождение устойчивых зависимостей (ассоциаций) между объектами или событиями. Наконец, задача кластеризации состоит в поиске независимых групп (кластеров), на которые можно разбить анализируемую совокупность данных. Задачи кластеризации и поиска ассоциативных правил являются описательными.

По способу решения задачи Data Mining делятся на задачи обучения с учителем и без учителя. В первом случае сначала по обучающей выборке данных строится модель анализируемых данных (классификатор), после чего проверяется качество его работы на контрольной выборке данных, и если оно неудовлетворительно, то осуществляется модификация модели (обучение). Обучение без учителя относится к описательным моделям, в которых закономерности известны и обучение не требуется. К методам Data Mining относят алгорит-

мы перебора, нечеткую логику, генетические алгоритмы, нейронные сети (Методы и модели 2004).

Использование имитационных моделей в составе КИС требует их сочетания с опытом и знаниями экспертов в режиме диалога с компьютерной системой. Эта идея находит выражение в понятии имитационной системы, которое может использоваться и независимо, и как подсистема КИС.

Один из первых авторов данного термина Р. Шеннон определяет имитационную систему как систему, позволяющую воспроизводить поведение какого-либо объекта окружающей нас среды (Шеннон 1978). Под поведением здесь подразумевается множество откликов объекта на воздействия окружающей среды. В русскоязычной научной литературе этот термин появился первоначально в статье (Моисеев и др. 1973): «Проблемно-ориентированная имитационная система - это совокупность средств информатики, поддерживающих эксплуатацию имитационной модели». Ю.Н. Павловский (2000) определяет имитационную систему как форму эксплуатации математических моделей, являющуюся частью более широкого класса проблемно-ориентированных интерактивных систем, включающего три основных класса: экспертные, оптимизационные и имитационные системы. Они являются результатом соединения традиционной технологии математического моделирования с информационной технологией, возникшей на базе ЭВМ. Встречается также трактовка имитационной системы как интерактивной системы, способной воспроизводить, «имитировать» различные сценарии развития рассматриваемой системы, прежде всего в целях обучения в игровой форме (Шураев и Марков 2004).

Таким образом, доминирующими являются три точки зрения на имитационные системы: как на программную реализацию имитационной модели; как внешнюю «надстройку» над имитационной моделью, которая обеспечивает ее удобное и эффективное использование; как на интерактивную тренажерную систему, воспроизводящую различные ситуации и реакцию системы на них в зависимости от действий пользователя (Тихонов 2009).

Несмотря на внешнее различие, все три подхода имеют общую черту, а именно, наличие в основе модели, способной имитировать «поведение» системы в ответ на различные внешние воздействия, поэтому логично рассматривать три типа систем, являющихся, по сути, инструментами, предназначенными для использования имитационной модели в различных целях различными способами. В самом деле, компьютерная реализация имитационной модели является

средством, позволяющим осуществлять прогоны модели на основе различных сценариев и осуществлять первичную обработку полученных результатов. Использование ее в целях глубокого анализа системы не слишком удобно, поскольку много работы исследователю приходится проделывать вручную или с использованием сторонних инструментальных средств. Второй подход, собственно, и подразумевает интеграцию имитационной модели и средств анализа в единый инструментальный комплекс, позволяющий исследователю осуществлять имитационные эксперименты с моделью по различным сценариям, собирать и систематизировать результаты экспериментов, а также осуществлять их анализ и оптимизацию исследуемого явления на основе этих данных. Что касается третьего подхода, то построение систем этого типа осуществляется обычно на основе хорошо отлаженной и адекватной имитационной модели, описывающей достаточно хорошо исследованное явление или систему. Здесь уже преследуется совсем другая цель: не столько исследование системы, сколько понимание обучаемым законов ее функционирования. Можно сделать вывод, что эти типы систем являются реализацией различных этапов цикла использования имитационной модели. В рамках данной книги имитационная система рассматривается, прежде всего, с точки зрения второго подхода.

Рассмотрим теперь состав имитационной системы и взаимодействие ее компонентов. Как показано на рис. 7.1.1, для изначального определения структуры модели используется подсистема ввода, которая обычно включает графический редактор схем или текстовый редактор. Этот модуль также используется для уточнения того, какие именно части моделируемой системы рассматриваются в процессе данного имитационного эксперимента и на каком уровне детализации следует производить моделирование каждого из блоков, ее составляющих. Для точного вычисления функциональных характеристик и статистических показателей моделируемой системы используется подсистема определения функциональных зависимостей, с помощью которой задается конкретный вид функций, используемых при имитации, и значения, характеризующие структурные элементы системы: производительность, емкость, быстродействие и т.п. Эта информация сохраняется в базе данных для использования ее другими блоками имитационной системы.

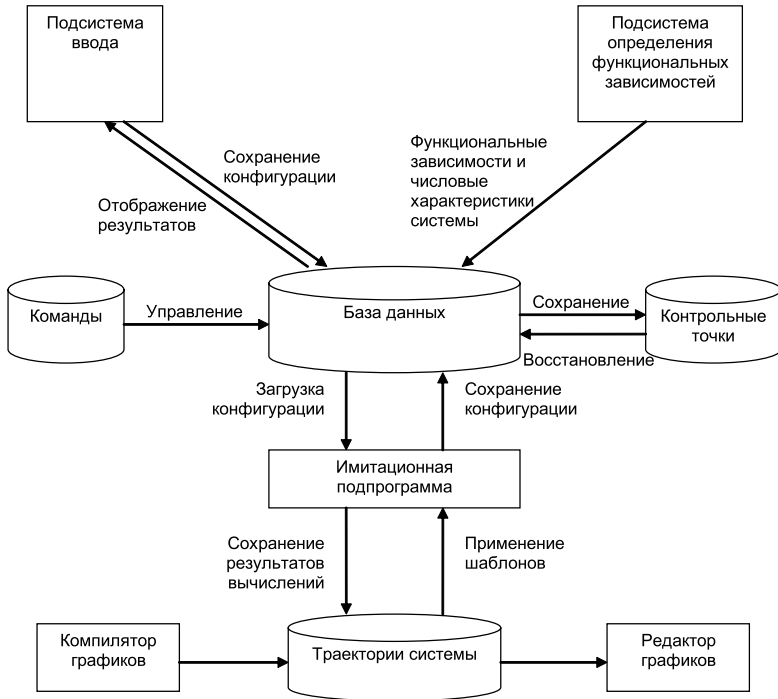


Рис. 7.1.1. Типовая структура имитационной системы (Тихонов 2009)

Моделирующая подпрограмма считывает информацию о структуре модели из базы данных для создания собственных структур данных, которые используются в вычислительных алгоритмах. Результаты вычислений сохраняются либо в файлах, содержащих информацию о траектории системы на всем интервале моделирования, либо в базе данных для данного шага моделирования с целью последующего отображения подсистемой ввода. Кроме того, имитационная подпрограмма создает контрольные точки, содержащие полный образ ее данных в текущий момент времени. Эти контрольные точки потом используются для продолжения процесса вычислений с этого момента без необходимости начинать все сначала.

Редакторы и компилятор графиков используются для создания, обновления и отображения графического представления данных, сохраненных в файлах результатов вычислений.

Обычно имитационные подпрограммы читают входные данные



как текстовые списки, описывающие связи между блоками модели. Эти списки создаются на основе данных, хранящихся в базе, в момент, когда производится команда на запуск имитационного прогона модели. Затем эти списки анализируются имитационной подпрограммой для создания или обновления структур данных, используемых в процессе вычислений. Выходные результаты также предоставляются в некотором текстовом формате, который должен быть проанализирован и преобразован для использования редактором графиков.

Рассмотрим в качестве примера имитационную систему моделирования бизнес-процессов организации как системы массового обслуживания (Тихонов 2009). Система реализована по клиент-серверной технологии с «тонким» клиентом. Такая архитектура позволяет перенести все вычислительные операции на отдельный сервер и избежать необходимости устанавливать на рабочее место исследователя мощное и дорогостоящее оборудование. Логически предлагаемую систему можно разделить на три основных узла: клиентский терминал, серверный модуль и СУБД с базой данных (см. рис. 7.1.2).

Клиентский терминал устанавливается на любую рабочую станцию и, по сути, является реализацией графического интерфейса пользователя. Через клиентский терминал пользователь системы вводит данные, осуществляет построение модели и управляет организацией вычислительных экспериментов. С помощью клиентского терминала осуществляется и вывод результатов вычислительных экспериментов.

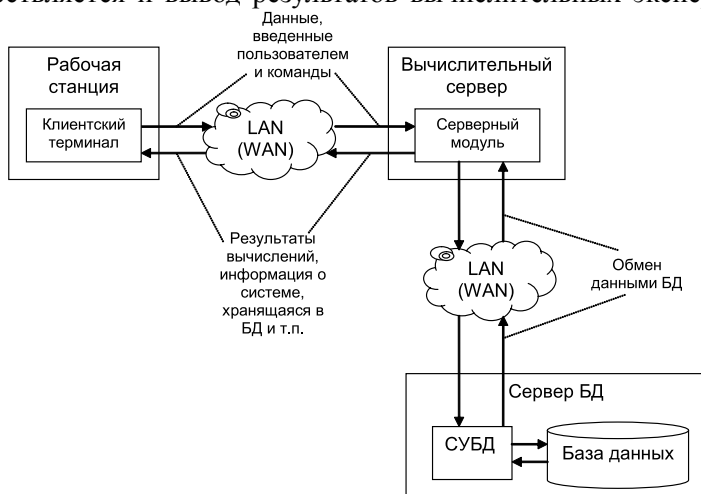


Рис. 7.1.2. Логическая организация имитационной системы по технологии «клиент-сервер» (Тихонов 2009)

Все вычисления и операции по преобразованию данных осуществляются внутри серверного модуля, который может быть физически расположен на другом, более мощном компьютере.

Рассмотрим подробнее структуру системы и ее основные блоки (рис. 7.1.3). Клиентский терминал состоит из подсистемы ввода-вывода и подсистемы передачи данных. Первая отвечает за ввод данных пользователем, их отображение, преобразование и сохранение, включая в себя графический интерфейс пользователя. Все взаимодействие пользователя с имитационной системой осуществляется только через клиентский терминал. Подсистема передачи данных представляет собой прослойку между подсистемой ввода-вывода клиентского терминала и серверного модуля, отвечая непосредственно за пересылку данных по локальной сети или через Интернет.

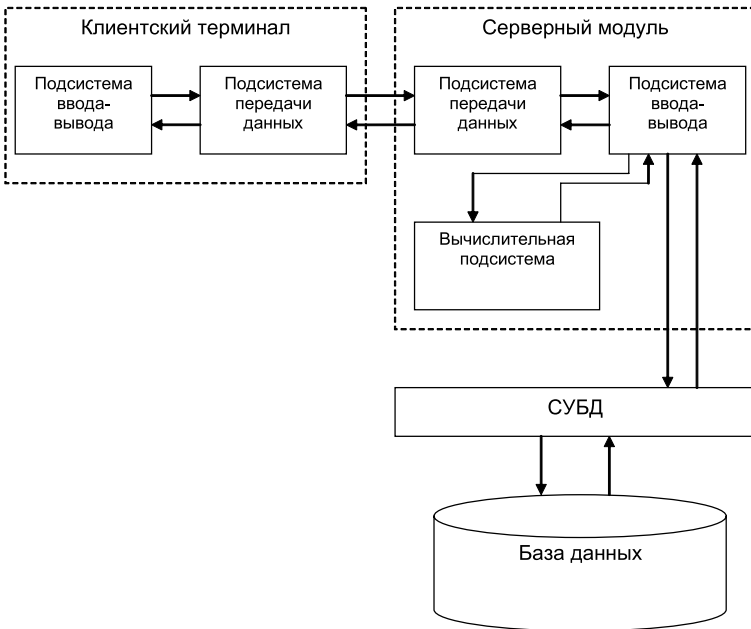


Рис. 7.1.3. Структура имитационной системы моделирования бизнес-процессов (Тихонов 2009)

Серверный модуль занимает центральное место в имитационной системе. Именно он отвечает за передачу информации от клиентского терминала к базе данных и обратно, за проведение вычислительных экспериментов, операции по обработке результатов и организа-

цию их хранения. Структурно он состоит из подсистемы передачи данных, отвечающей за связь с клиентским терминалом, подсистемы ввода-вывода и вычислительной подсистемы. Подсистема ввода-вывода серверного модуля отличается по функциям от принадлежащей клиентскому терминалу аналогичной подсистемы и включает в себя средства взаимодействия с СУБД.

Рассмотрим теперь состав основных компонентов клиентского терминала и их взаимодействие (рис. 7.1.4).

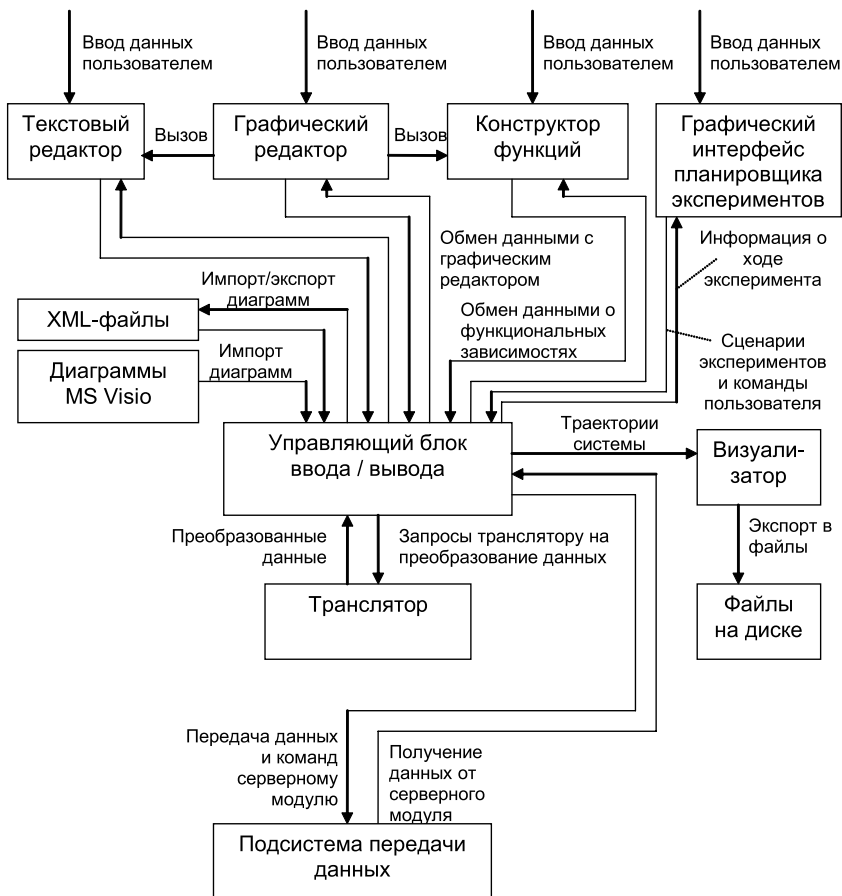


Рис. 7.1.4. Основные компоненты клиентского терминала (Тихонов 2009)

Основным элементом клиентского терминала является подсистема ввода-вывода, включающая в себя графический интерфейс пользователя и средства по преобразованию и отображению данных.

На начальных этапах работы с системой пользователю необходимо задать структуру моделируемой системы с помощью IDEF0-диаграмм. Их ввод может осуществляться: с использованием встроенного графического редактора; путем импорта данных диаграммы из Microsoft Visio; с использованием встроенного текстового редактора в формате XML; путем загрузки из XML-файла.

Встроенный графический редактор является основным средством ввода диаграмм. При вводе диаграммы информация хранится в оперативной памяти в виде специальных структур данных и может быть по желанию пользователя экспортирована во внешний XML-файл либо импортирована из него в редактор. Также имеется возможность импорта диаграмм из Microsoft Visio. Для ввода информации в текстовом виде имеется встроенный текстовый редактор, с которым производится синхронизация в режиме реального времени. Вызов его производится из графического редактора. Для дальнейшего использования введенные диаграммы сохраняются в базе данных, откуда они могут быть прочитаны другими модулями.

Сохранение, загрузка и экспорт-импорт информации производятся с помощью специального транслятора, который в зависимости от выполняемой операции производит преобразование данных в соответствующий формат. Вызов транслятора осуществляется управляющим блоком, который обрабатывает запросы остальных модулей на преобразование данных и осуществляет их передачу с использованием одноименной подсистемы.

Для осуществления идентификации модели, как структурной, так и численной, в распоряжение пользователя предоставляется специальный конструктор функций, позволяющий задавать вид входящих в модель функций и их числовые параметры, используя только лишь элементы интерфейса и выбирая нужные функции и переменные из списков. Введенная информация также сохраняется в базе данных. Хотя конструктор функций является самостоятельным модулем, его вызов осуществляется только из графического редактора для обеспечения удобства пользователя и во избежание ошибок, связанных с недоопределением или логической противоречивостью данных. При этом обмен данными с базой производится в обход графического редактора, за синхронизацию данных с которым отвечает управляющий блок ввода-вывода.

Вывод и отображение данных осуществляются с помощью встро-

енного визуализатора, осуществляющего изображение траекторий системы на экране и предоставляющего базовые функции для редактирования изображения: изменение цвета, масштаба, толщины линий, подписей, а также возможность экспорта как графического изображения, так и исходных данных, на основе которых строились траектории, во внешний файл. График при этом является интерактивным, т.е. при необходимости пользователь может изменять его, к примеру, переопределяя точки данных как в текстовом режиме, так и просто перемещая их на графике, либо добавляя на график свои объекты. Все сделанные изменения могут быть сохранены в базе для их последующего использования.

Основные функции клиентского терминала имитационной системы перечислены далее.

1. Ввод данных: ввод диаграмм IDEF0 в графическом режиме; ввод диаграмм IDEF0 в текстовом режиме; импорт диаграмм из XML-файлов; импорт диаграмм из Microsoft Visio; задание функциональных зависимостей между компонентами модели с помощью конструктора функций; задание значений числовых параметров функциональных зависимостей с помощью конструктора функций; составление планов экспериментов с помощью графического интерфейса планировщика экспериментов; редактирование траекторий системы с помощью интерфейса визуализатора.

2. Вывод данных: отображение информации о структуре модели и функциональных зависимостях между ее компонентами в графическом и текстовом режимах; анимация хода вычислительных экспериментов с помощью графического интерфейса планировщика; вывод результатов и анимация хода эксперимента с помощью визуализатора траекторий; экспорт информации о структуре модели в XML-файл; экспорт результатов экспериментов во внешние файлы.

3. Управление данными и вычислительным процессом: передача команд управления вычислительным процессом, серверному модулю; управление проведением имитационных и оптимизационных экспериментов по различным сценариям; управление сохранением и восстановлением данных; преобразование данных для их передачи между подсистемами; обмен данными с серверным модулем через подсистему передачи данных.

Серверный модуль имитационной системы показан на рис. 7.1.5.

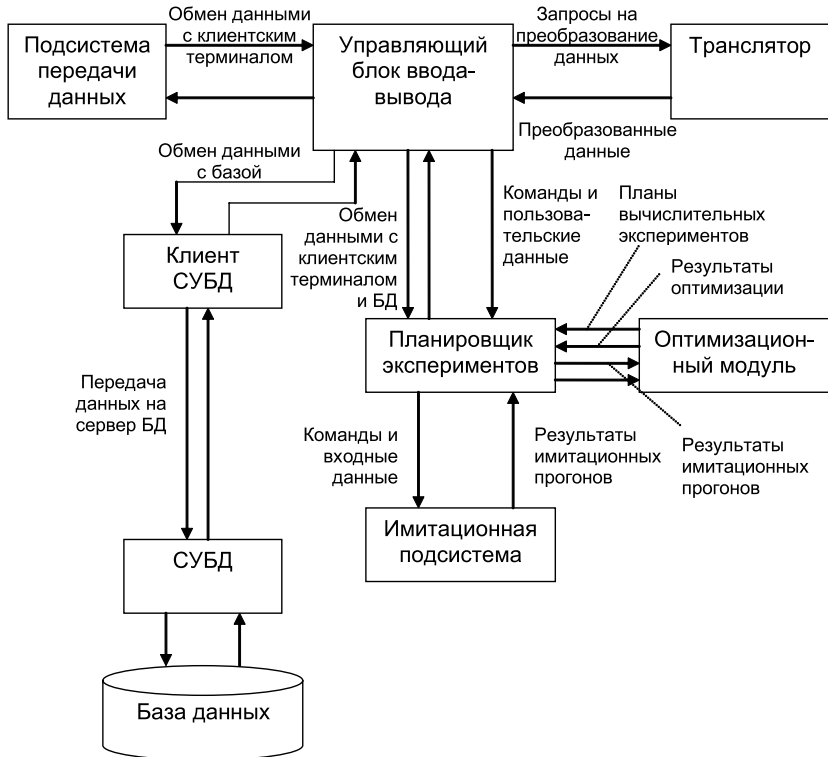


Рис. 7.1.5. Структура серверного модуля имитационной системы (Тихонов 2009)

Подсистема ввода-вывода серверного модуля значительно проще аналогичной подсистемы клиентского, поскольку она не содержит элементов графического интерфейса и предназначена для координации взаимосвязи модулей вычислительной подсистемы с клиентским терминалом и базой данных. Структурно она состоит из: подсистемы передачи данных, обеспечивающей связь с клиентским терминалом; клиентской части СУБД, осуществляющей передачу данных и запросов; транслятора, осуществляющего преобразование данных по запросам управляющего блока. Транслятор включен в подсистемы ввода вывода обеих сторон для того, чтобы исключить необходимость относительно медленной пересылки данных между клиентом и сер-

вером при выполнении операций, не затрагивающих противоположную сторону; наконец, самого управляющего блока ввода-вывода, осуществляющего координацию работы вышеперечисленных модулей и их взаимодействие с вычислительной подсистемой.

Рассмотрим работу вычислительной подсистемы. В центре ее стоит модуль-планировщик экспериментов, задачей которого является организация выполнения вычислительных экспериментов по заданным сценариям. Сценарии экспериментов и команды управления имитацией поступают либо от пользователя с помощью графического интерфейса планировщика (см. рис. 7.1.4), либо от подсистемы оптимизации, которая на основе заданных пользователем критериев осуществляет автоматическую генерацию сценариев и планов вычислений.

При имитационном режиме работы планировщик экспериментов на основе полученных от пользователя сценариев составляет план вычислений и генерирует наборы входных переменных и параметров, при которых будут осуществляться имитационные прогоны. Непосредственно вычисления производятся в имитационной подсистеме, которая на основании данных о структуре модели и значений входных переменных и параметров осуществляет требуемое число имитационных прогонов. Пользователь имеет возможность управлять процессом вычислений, используя графический интерфейс планировщика. Полученные траектории системы передаются обратно планировщику экспериментов, после чего направляются в подсистему ввода-вывода для сохранения в базе данных и (или) пересылки клиентскому терминалу для их отображения и редактирования.

При оптимизационном режиме работы управление экспериментальной осуществляется оптимизационным модулем. На основании данных и команд пользователя оптимизационный модуль разрабатывает сценарии вычислительных экспериментов и передает их планировщику. Планировщик организует выполнение вычислительных прогонов, результаты которых имитационной подсистемой возвращаются обратно планировщику экспериментов, а затем передаются им в оптимизационный модуль для анализа. По окончании процедуры оптимизации результаты передаются в подсистему ввода-вывода для сохранения в базу данных или пересылки клиентскому терминалу для визуализации.

В функции имитационной подсистемы входит также сбор статистики о работе системы и вычисление группы статистических показателей, а именно: задержки требований в очереди; время ожидания требований в очереди; число требований в очереди в определенный

момент времени; число требований в системе в определенный момент времени; значение установившейся средней задержки; значение установившегося среднего времени ожидания; время пребывания требования в системе (в очереди и на приборе); виртуальное время ожидания начала обслуживания, т. е. время ожидания начала обслуживания требованием, искусственно привнесенным в СМО в выбранный момент времени; виртуальное время пребывания требования в системе; период занятости системы, т. е. интервал времени с момента поступления в свободную систему требования до первого последующего момента освобождения системы от требований; поток потерянных требований и т.д.

Таким образом, основными функциями серверного модуля являются следующие.

1. Выполнение вычислительных экспериментов:
  - организация вычислений планировщиком экспериментов:
    - a. на основе predetermined стандартных планов;
    - b. на основе планов, задаваемых пользователем;
  - выполнение имитационных прогонов имитационной подсистемой;
    - обработка результатов вычислений планировщиком;
    - организация оптимизационных вычислений оптимизационным модулем, включая автоматическое составление сценариев для планировщика.
2. Сбор, обработка и хранение данных:
  - преобразование данных с помощью транслятора;
  - обмен данными с базой путем взаимодействия с клиентской частью СУБД;
    - передача данных клиентскому терминалу;
    - сбор данных и вычисление статистических показателей о работе СМО;
    - первичная обработка результатов имитационных экспериментов.

Предложенная имитационная система моделирования бизнес-процессов как системы массового обслуживания является достаточно универсальной и может применяться для исследования бизнес-процессов практически любой организации. Высокая степень интеграции позволяет исследователю в большинстве случаев обойтись без использования дополнительных инструментов анализа, зачастую являющихся дорогостоящими, но не используемыми в полной мере при выполнении основной массы задач.

Клиент-серверная архитектура позволяет распределить вычис-



лительную нагрузку между несколькими компьютерами и избавляет от необходимости устанавливать весь комплекс программных средств на каждую рабочую станцию, а также снижает требования к аппаратному обеспечению рабочего места исследователя. Удаленное взаимодействие с базой данных допускает использование уже существующей СУБД или даже интеграцию в корпоративную базу данных, предоставляя возможность доступа к информации другими программными средствами.

Простота использования и отсутствие необходимости в особых навыках программирования на специализированных языках делают систему доступной для широкого круга исследователей и упрощают ее внедрение (Тихонов 2009).

Еще одной важной разновидностью информационных систем, которые могут использоваться как независимо, так и в качестве блока КИС, являются экспертные системы (Джарратано и Райли 2006; Джексон 2001). Экспертная система (ЭС) аккумулирует опыт специалистов-экспертов в некоторой узкой предметной области и выдает на основе этого опыта рекомендации по принятию решений. Основой экспертной системы выступает база знаний. База знаний состоит из правил анализа информации от пользователя по конкретной проблеме. ЭС анализирует ситуацию и, в зависимости от направленности ЭС, дает рекомендации по разрешению проблемы. Как правило, база знаний ЭС содержит факты (статические сведения о предметной области) и правила — набор инструкций, применяя которые к известным фактам, можно получать новые факты.

В рамках логической модели базы знаний записываются с помощью языка предикатов (например, на языке программирования Пролог) для описания фактов и правил логического вывода, выражающих правила определения понятий, для описания обобщенных и конкретных сведений, а также конкретных и обобщенных запросов к базам данных и базам знаний. Обычно факты в базе знаний описывают те явления, которые являются постоянными для данной предметной области. Характеристики, значения которых зависят от условий конкретной задачи, ЭС получает от пользователя в процессе работы, и сохраняет их в рабочей памяти. Например, в медицинской ЭС факт «У здорового человека две ноги» хранится в базе знаний, а факт «У пациента одна нога» — в рабочей памяти. База знаний ЭС создается при помощи трех групп людей: эксперты той проблемной области, к которой относятся задачи, решаемые ЭС; инженеры по знаниям, являющиеся специалистами по разработке информационных систем; программисты, осуществляющие реализацию ЭС. Важной частью

экспертной системы является механизм вывода, с помощью которого осуществляются логические преобразования. Наконец, обязательно должна присутствовать объясняющая компонента, которая демонстрирует пользователю, на основании каких фактов и правил была получена та или иная рекомендация (цепочка логического вывода), что повышает степень доверия к ней.

Можно выделить следующие этапы построения ЭС.

- Этап идентификации проблем — определяются задачи, которые подлежат решению, выявляются цели разработки, определяются эксперты и типы пользователей.
- Этап извлечения знаний — проводится содержательный анализ проблемной области, выявляются используемые понятия и их взаимосвязи, определяются методы решения задач.
- Этап структурирования знаний — определяются способы представления всех видов знаний, формализуются основные понятия, определяются способы интерпретации знаний, моделируется работа системы, оценивается адекватность целям системы зафиксированных понятий, методов решений, средств представления и манипулирования знаниями.
- Этап формализации — осуществляется наполнение экспертом базы знаний. В связи с тем, что основой ЭС являются знания, данный этап является наиболее важным и трудоемким этапом разработки ЭС. Процесс приобретения знаний разделяют на извлечение знаний из эксперта, организацию знаний, обеспечивающую эффективную работу системы, и представление знаний в виде, понятном ЭС. Процесс приобретения знаний осуществляется инженером по знаниям на основе анализа деятельности эксперта по решению реальных задач.
- Реализация ЭС — создается один или нескольких прототипов ЭС, решающие требуемые задачи.
- Этап тестирования — производится оценка выбранного способа представления знаний в ЭС в целом.

Рассмотрим в качестве примера экспертную систему поддержки продаж недвижимости (Мониторинг 2009). Экспертную систему можно разбить на две части: внешнюю и внутреннюю. Внутренняя часть системы направлена на автоматизацию процессов и их взаимосвязь внутри организации. Внешняя часть – на взаимодействие с внешним потребителем (см. рис. 7.1.6).

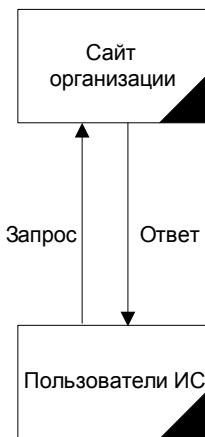


Рис. 7.1.6. Схема работы сайта девелоперской организации

Данные, которые относятся к внутренней части – это те данные, которые необходимы для поддержания работы организации. Такие данные должны быть скрыты от внешних потребителей. К ним относятся: бухгалтерские документы; информация обо всех клиентах; полная информация о проектах; полная информация по объектам недвижимости.

Данные, которые относятся к внешней части – данные, необходимые для привлечения клиентов и составления информации об услугах, оказываемых организацией. К таким данным относятся: частичная информация об объектах недвижимости; информация о новых проектах.

То есть, внутренняя часть содержит данные в полном объеме, внешняя – часть данных, представленных в другом виде, отличном от того, в котором они отображаются для сотрудников (см. рис. 7.1.7). Это обусловлено тем, что клиенты организации получают доступ к ограниченному набору функций. В частности, изменить стоимость квартиры, добавить информацию клиент не может. Такая информация и соответствующие возможности доступны только сотруднику организации.



Рис. 7.1.7. Схема разделения данных

Однако клиенту может быть представлена возможность выбора квартиры (в этом случае привлекаются возможности экспертной системы), а также бронирования квартиры. Информация о том, что квартира отмечена для бронирования, должна быть передана в базу данных организации. Таким образом, получаем схему, показанную на рис.7.1.8.

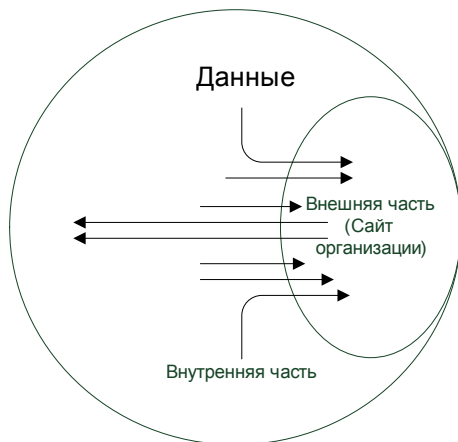


Рис. 7.1.8. Схема обмена данными между внутренней и внешней частями ЭС

Отделу продаж девелоперской организации необходимо подобрать жилье клиенту в соответствии с указанными предпочтениями или критериями. Для решения этой задачи предполагается использовать возможности ЭС. В случае, когда клиент указывает на предпочтения, решение ищется с учетом ограничений на суммарную стоимость. Должны быть указаны предпочтения клиента, выраженные в баллах, и общая сумма, на которую рассчитывает клиент. Данная подзадача формализована как задача о рюкзаке. В том случае, если таким образом решение не будет найдено, нужно произвести поиск решения, изменив начальные условия. Возникает вторая подзадача поиска компромиссного решения. Экспертная подсистема функционирует как на сайте организации (должна предоставляться возможность бронирования квартиры), так и внутри (когда клиент пришел).

Работу ЭС поддержки продаж в девелоперской компании можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 7.1.9).

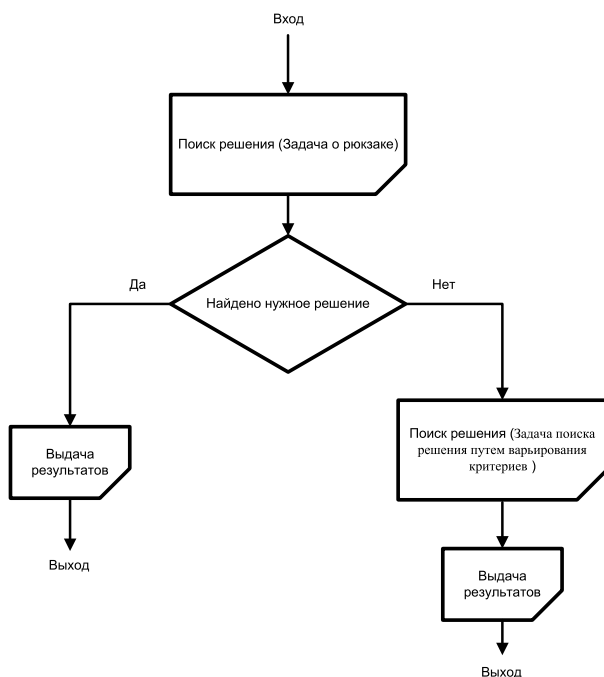


Рис. 7.1.9. Блок – схема работы экспертной системы поддержки продаж в девелоперской компании

Задача подбора жилья разбивается на две подзадачи:

- 1) задача о рюкзаке;
- 2) задача поиска решения путем варьирования критериев.

Рассмотрим задачу о рюкзаке. Необходимо предложить клиенту жилье с учетом его предпочтений. Иначе говоря, необходим механизм, который дает возможность при установленной предпочтительности каждого критерия составлять предложение жилья. Предпочтительность – оценка важности для клиента каждого критерия в баллах.

Пусть  $X$  – множество критериев,  $|X| = N$  – число критериев,  $x_j (\in X)$  – критерий  $j = 1 \dots N$ . Каждому  $x_j$  ставится в соответствие

$u_j$  – предпочтительность (в баллах),  $v_j$  – стоимость.

Из элементов необходимо составить набор, обладающий максимальной полезностью при ограничениях на стоимость,  $M$  – максимально допустимая стоимость.

Таким образом, получена классическая задача о рюкзаке. В качестве предметов будем рассматривать критерии  $x_j$ , в качестве полезности – предпочтительность  $u_j$ , в качестве веса предмета – стоимость  $v_j$ , в качестве максимально допустимого веса – максимально допустимую стоимость  $M$ . Необходимо укомплектовать рюкзак предметами ( $x_j$ ), учитывая, что  $u_j$  – полезность,  $v_j$  – вес предмета,  $M$  – максимально допустимый вес рюкзака. Задачу можно представить в виде

$$U = \sum u_j \rightarrow \max$$

$$\sum v_j \leq M$$

Используем алгоритм Данцига для решения задачи (Сигал 1999). Каждому компоненту  $x_j$  ставим в соответствие приведенную полезность  $\alpha_j$ .

$$\alpha_j = \frac{u_j}{v_j}; j = 1 \dots N.$$

Множество всех альтернатив сортируем по убыванию приведенной полезности, и затем формируем набор из компонент с наибольшей приведенной полезностью до заполнения рюкзака.

Алгоритм Данцига

1. Получить  $u_j, v_j$ .
2. Для всех  $j$  от 1 до  $N$  получить  $\alpha_j = \frac{u_j}{v_j}$ .

3. Упорядочить по убыванию критерии в соответствии с полученными значениями  $\alpha_j$ .

4. Пока сумма весов критериев не превосходит объема рюкзака  $M$ , добавлять критерии в набор в соответствии с упорядоченностью.

Таким образом, имеется алгоритм для поиска набора критериев с учетом предпочтительности каждого критерия. По полученному набору критериев будем производить поиск решения (предложение жилья). Если решение не найдено, необходимо производить поиск вариантов, изменив начальные условия. Существует два варианта для изменения.

1) Изменить начальную сумму  $M$ .

2) Изменить количество и состав критериев для поиска.

В первом случае изменяем сумму и вновь ищем решение задачи о рюкзаке. Второй случай будет рассмотрен далее.

Постановка задачи поиска компромиссного решения имеет следующий вид.

Рассмотрим  $X$  - множество всех критериев,  $|X| = m < \infty$ .  $X_j$  - множество наборов критериев, по которым будет производиться поиск решения;  $i$  - число отмеченных критериев,  $j$  - нумерация. Число  $i$  принимает значения от 1 до  $n$ , где  $n$  - число критериев, которые будут учитываться при поиске ( $0 \leq n \leq m$ );  $j$  от 1 до  $C_n^i$ .

$X_{ij} \subset X$  т. е.  $|X_{ij}| \leq |X|$ .  $f(X_{1j})$  - решения в том случае, когда учитывается один критерий;  $f(X)$  - решение для случая, когда учитываются все отмеченные критерии. Необходимо найти все  $f(X_{ij})$ .

Будем строить функцию  $f$  следующим образом. Каждому элементу  $X_{1j}$  множества  $X$  поставим в соответствие подмножество множества  $Y$ , где  $Y$  - множество вариантов жилья. Отображение  $f : X \rightarrow Y$  - инъективное, причем выполняются два свойства:

1)  $f(\emptyset) = Y$

2)  $f(X_{1j} \cup X_{1l}) = f(X_{1j}) \cup f(X_{1l})$ , где  $l \neq j$ .

Рассматриваются два случая взаимного расположения множеств  $X_{ij}$  (рис. 7.1.10, 7.1.11).

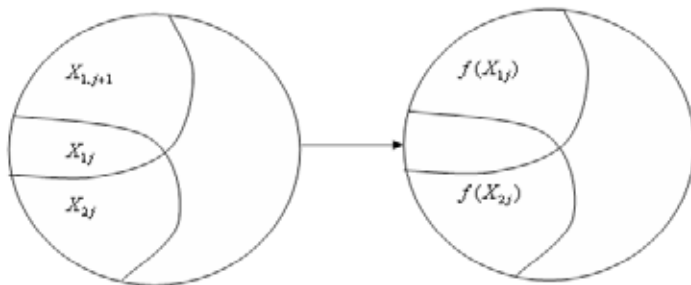


Рис. 7.1.10. Случай, когда множества пересекаются

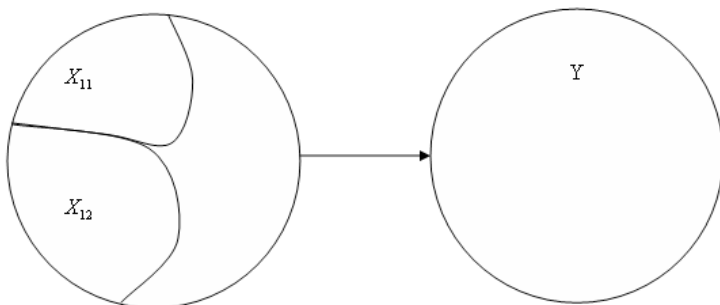


Рис. 7.1.11. Случай, когда множества не пересекаются

Решение задачи определяется следующим алгоритмом.

Пусть  $j$  – фиксированное.

- 1) В том случае, когда  $n=1$  (отмечен один критерий), а, значит,  $i=1$ , задача имеет решение:  $f(X_{1j})$ .
- 2) Зафиксируем  $1 < n < m$ .

В таких случаях будем строить дерево следующего вида (см. рис. 7.1.12).



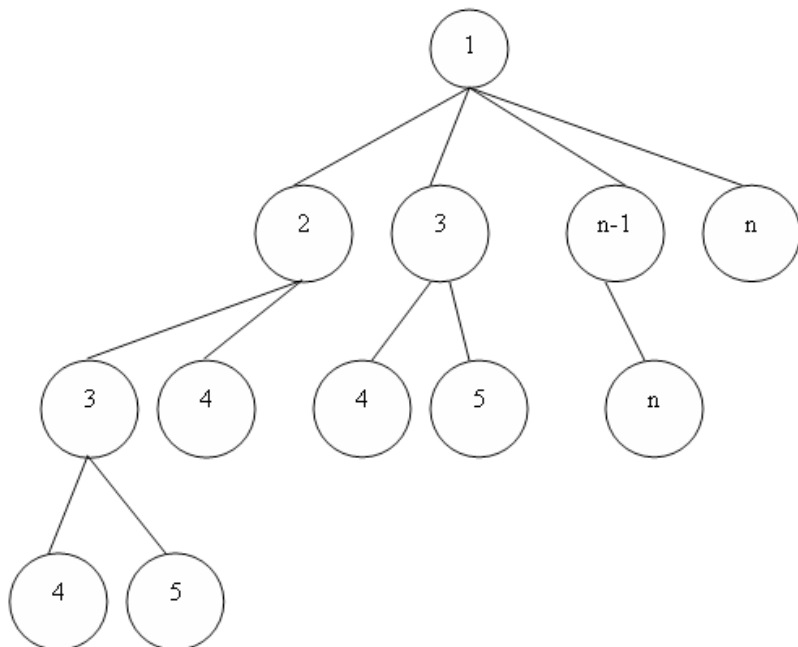


Рис. 7.1.12. Дерево общего вида

Осуществляя обход дерева, будем получать упорядоченные наборы вида

$$(k, k + p_1, k + p_2, \dots),$$

где

$$0 < k < m, 0 \leq p_1 \leq m - l, 0 \leq p_2 \leq m - l - 1, \dots, p_1 < p_2 < \dots$$

Объединяя наборы, получим соответствующее множество  $\{(k, k + p_1, k + p_2, \dots)\}$ .

Число элементов в полученном множестве равно  $C_n^i$ , где  $n$  – число отмеченных критериев.

3) Рассмотрим случай, когда  $i = m$  (при поиске учитываются все отмеченные критерии).

Получим, что  $j = C_n^n = 1$ . Дерево будет выглядеть следующим образом (см. рис. 7.1.13).

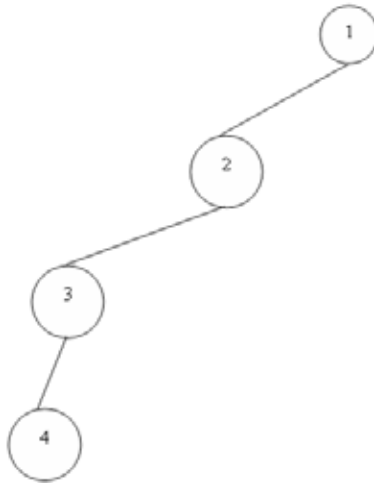


Рис. 7.1.13. Дерево для частного случая

Так как получен единственный вариант, то в этом случае дерево строить и совершать обход не нужно. Решение будет выглядеть следующим образом:

$$f\left(\bigcup_{l=1}^n X_{ll}\right).$$

Таким образом, получен алгоритм для поиска решения по выбранным критериям. Алгоритм поиска при фиксированном числе указанных критериев имеет вид:

1. Выбрать критерии для поиска.
2. Отметить число критериев для поиска.
3. Построить дерево поиска.
4. Осуществить обход дерева, получить необходимые наборы.
5. Произвести поиск по каждому набору.
6. Выдать результат.

Рассмотренная задача и полученный в ходе решения алгоритм позволяют находить оптимальные решения в случаях, когда ни одно решение не было найдено при отмеченных критериях.

Рассмотрим пример для случая, когда число отмеченных критериев  $n = 5$ , число отмеченных для поиска критериев  $i = n = 5$ .

Как отмечалось выше, в этом случае дерево строить и совершать обход не нужно.

Искомый набором будет  $\{(X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15})\}$ .

Решение будет выглядеть следующим образом:

$$f\left(\bigcup_{l=1}^n X_{1l}\right) = f(X_{11}) \cup f(X_{12}) \cup f(X_{13}) \cup f(X_{14}) \cup f(X_{15}).$$

Пусть теперь  $n = 5, i = 3$ .

В этом случае строим дерево следующего вида (рис. 7.1.14). Осуществляя обход дерева, получим тройки:

$\{(1, 2, 3), (1, 2, 4), (1, 2, 5), (1, 3, 4), (1, 3, 5), (1, 4, 5), (2, 3, 4), (2, 3, 5), (2, 4, 5), (3, 4, 5)\}$ . Таких троек существует

$$C_n^i = C_5^3 = \frac{5!}{2!(5-3)!} = 10.$$

Каждой тройке ставим в соответствие множество, как показано далее

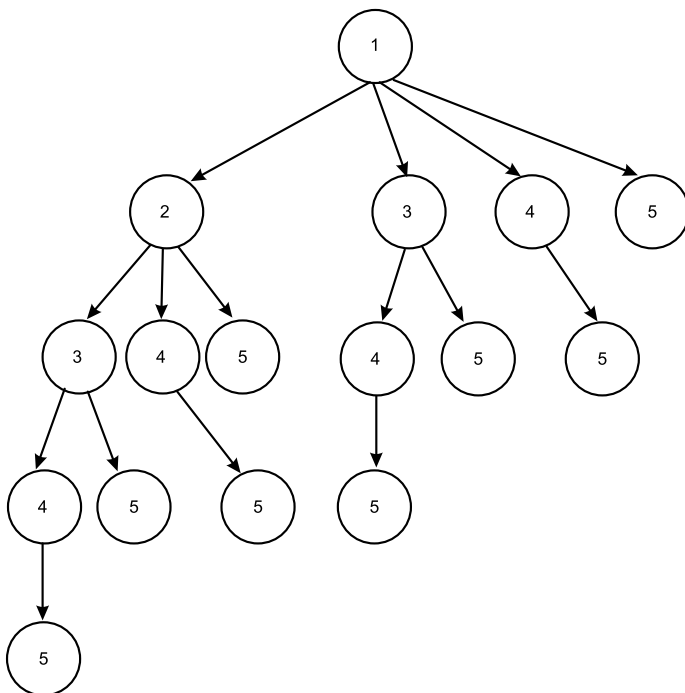


Рис. 7.1.14. Вид дерева для случая  $n = 5, i = 3$

$$(1, 2, 3) - X_{11} \cup X_{12} \cup X_{13};$$

$$(1, 2, 4) - X_{11} \cup X_{12} \cup X_{14};$$

$$(1, 2, 5) - X_{11} \cup X_{12} \cup X_{15};$$

$$(1, 3, 4) - X_{11} \cup X_{13} \cup X_{14};$$

$$(1, 3, 5) - X_{11} \cup X_{13} \cup X_{15};$$

$$(1, 4, 5) - X_{11} \cup X_{14} \cup X_{15};$$

$$(2, 3, 4) - X_{12} \cup X_{13} \cup X_{14};$$

$$(2, 3, 5) - X_{12} \cup X_{13} \cup X_{15};$$

$$(2, 4, 5) - X_{12} \cup X_{14} \cup X_{15};$$

$$(3, 4, 5) - X_{13} \cup X_{14} \cup X_{15};$$

Для каждого полученного множества строим отображение  $f$  и, таким образом, учитывая свойства функции  $f$ , получаем набор решений.

$$f(X_{11} \cup X_{12} \cup X_{13}) = f(X_{11}) \cup f(X_{12}) \cup f(X_{13});$$

$$f(X_{11} \cup X_{12} \cup X_{14}) = f(X_{11}) \cup f(X_{12}) \cup f(X_{14});$$

$$f(X_{11} \cup X_{12} \cup X_{15}) = f(X_{11}) \cup f(X_{12}) \cup f(X_{15});$$

$$f(X_{11} \cup X_{13} \cup X_{14}) = f(X_{11}) \cup f(X_{13}) \cup f(X_{14});$$

$$f(X_{11} \cup X_{13} \cup X_{15}) = f(X_{11}) \cup f(X_{13}) \cup f(X_{15});$$

$$f(X_{11} \cup X_{14} \cup X_{15}) = f(X_{11}) \cup f(X_{14}) \cup f(X_{15});$$

$$f(X_{12} \cup X_{13} \cup X_{14}) = f(X_{12}) \cup f(X_{13}) \cup f(X_{14});$$

$$f(X_{12} \cup X_{13} \cup X_{15}) = f(X_{12}) \cup f(X_{13}) \cup f(X_{15});$$

$$f(X_{12} \cup X_{14} \cup X_{15}) = f(X_{12}) \cup f(X_{14}) \cup f(X_{15});$$

$$f(X_{13} \cup X_{14} \cup X_{15}) = f(X_{13}) \cup f(X_{14}) \cup f(X_{15});$$

Алгоритм поиска компромиссного решения в случаях, когда решение не было найдено, имеет следующий вид:

1. Выбрать критерии для поиска.
2. Построить дерево поиска.

3. Осуществить обход, получить необходимые наборы.
4. Произвести поиск по каждому набору.
5. Если решение было найдено или число критериев равно нулю, выдать результат с объяснением. Если решение не было найдено, уменьшить число критериев для поиска, перейти к пункту номер 2.

## **7.2. Корпоративные информационно-моделирующие системы как инструмент обеспечения устойчивого развития организации**

Менеджмент качества, основные требования которого определены стандартами ИСО серии 9000 (параграф 2.1), представляет собой технологию организационного управления, позволяющую обеспечить устойчивое развитие организации. Стержневая линия этой технологии, исходящая из трактовки организации как иерархически управляемой динамической системы, предполагает следующий набор действий по формированию и поддержке системы менеджмента.

1. Выделение и описание бизнес-процессов, структурирующих деятельность организации. Здесь используются различные средства информационного моделирования (параграф 6.1), в том числе специальные средства информационного моделирования бизнес-процессов (параграф 6.2). Одним из основных средств описания бизнес-процессов является нотация IDEF0; в параграфе 6.3 предложена методология формализации бизнес-процессов организации как системы массового обслуживания, основанная на нотации IDEF0.

2. Определение показателей функционирования по каждому процессу, образующих в совокупности вектор состояния организации  $x^t = (x_1^t, \dots, x_n^t)$ , где  $x_i^t$  - значение i-го показателя в момент t; n - общее число выделенных показателей (параграф 2.2).

3. Определение плановых значений показателей, соблюдение которых определяет гомеостаз организации (параграф 2.2). Условия гомеостаза могут формулироваться в двух формах: слабой и сильной. Слабая форма гомеостаза трактуется как выполнение условия

$$\forall t \in [0, T]: x(t) \in X^*, \quad (7.2.1)$$

где  $x(t)$  – вектор состояния организационной системы,  $X^*$  - об-

ласть гомеостаза,  $T$  – период функционирования системы. Пусть для каждого показателя состояния  $x_i$  определено его плановое значение  $x_i^*$ , а область гомеостаза  $X^*$  представляет собой параллелепипед

$$\prod_{i=1}^n [x_i^* - \varepsilon, x_i^* + \varepsilon] \quad (7.2.2)$$

Тогда отрезки  $[x_i^* - \varepsilon, x_i^* + \varepsilon]$  представляют собой допуски по показателю  $x_i$ , а требование (7.2.1) при  $t \rightarrow \infty$  означает условие нейтральной устойчивости точки равновесия  $x^*$  для управляемой динамической системы

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), u(t)), \quad (7.2.3)$$

описывающей развитие организационной системы с вектором состояния  $x(t)$  при определенном наборе управляющих воздействий  $u(t)$ .

Сильная форма гомеостаза (требование постоянного улучшения У.Э.Деминга) описывается дополнительным условием

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = x^* \quad (7.2.4)$$

которое вместе с условием (7.2.1) с учетом (7.2.2) означает асимптотическую устойчивость равновесия  $x^*$  по Ляпунову.

Таким образом, если развитие организационной системы моделируется уравнением (7.2.3), а совокупность плановых значений показателей ее состояния – равновесием  $x^*$ , то традиционный подход формализуется как требование нейтральной устойчивости равновесия, а подход постоянного улучшения Деминга – как требование его асимптотической устойчивости по Ляпунову. Требование нейтральной устойчивости можно считать слабой формой условия гомеостаза организации, а требование асимптотической устойчивости – его сильной формой. Асимптотическая устойчивость (сильное условие гомеостаза) включает в себя нейтральную (слабое условие). Поэтому подход Деминга усиливает подход, основанный на допусках.

4. Регулярное измерение значений показателей процессов и ключевых показателей внешней среды. Эти измерения необходимы, чтобы выяснить, выполняются ли сформулированные выше требования гомеостаза. Сбор информации о состоянии организации является

важнейшей задачей системы организационного мониторинга (параграф 3.1).

5. Анализ результатов измерений и оценка состояния организации. Это неразрывно связанные с предыдущей задачей из пункта 4 задачи мониторинга (параграф 3.1), дающие, собственно, ответ на вопрос о том, является ли развитие организации гомеостатическим.

6. При необходимости - разработка и реализация корректирующих действий (параграф 4.2). Поскольку организация находится под постоянным воздействием внутренних и внешних возмущающих факторов, то текущие отклонения от требований гомеостаза неизбежны. Поэтому необходима разработка и реализация механизмов адаптации, обеспечивающих возврат организационной системы к желаемой траектории развития (параграф 4.1). Естественным способом обеспечения адаптации является разработка механизмов мотивации, стимулирующих сотрудников организации соблюдать требования ее гомеостаза (параграф 4.2).

7. Разработка и реализация предупреждающих действий (параграф 4.3). В соответствии с требованиями стандарта ИСО 9001-2008, организация должна не только осуществлять коррекции и корректирующие действия по факту возникновения несоответствий, но и пытаться предупредить их появление в будущем. Здесь необходимо использовать методологию имитационного моделирования, позволяющую осуществить прогноз состояния внутренней и внешней среды.

8. Преодоление оппортунистического поведения. Есть надежда, что идеальный менеджмент, основанный на сотрудничестве и убеждении, позволит избежать организационного оппортунизма. Однако путь к идеалу тернист, и в реальных условиях настоящего времени приходится учитывать наличие частных интересов и индивидуалистических стратегий поведения сотрудников, не отвечающих требованиям устойчивого развития организации в целом. Поэтому целесообразно исследовать и внедрять модели преодоления оппортунистического поведения (глава 5). Для описания компромиссного взаимодействия ассоциированных с организацией субъектов (стейкхолдеров), обеспечивающего преодоление оппортунизма, необходимо использовать теоретико-игровые модели. При этом решение игры должно удовлетворять требованиям стратегической и динамической устойчивости (параграф 2.2). В совокупности условия гомеостаза

(нейтральная и асимптотическая устойчивость) и компромисса (стратегически и динамически устойчивого) представляют собой необходимые и достаточные условия устойчивого развития организации.

9. Автоматизация документооборота и поддержки решений на основе корпоративной информационно-аналитической системы. Практическим средством реализации описанной технологии управления выступают корпоративные информационные системы (параграф 7.1), обеспечивающие компьютерную автоматизацию сбора, хранения, обработки и анализа всей необходимой информации. В настоящем параграфе описывается авторская концепция корпоративной информационно-моделирующей системы (КИМС) как инструмента обеспечения устойчивого развития организации. Структура КИМС показана на рис.7.2.1.

КИМС реализуется по схеме клиент-сервер. Клиентская часть включает в себя интерфейсы данных и моделей, остальные блоки системы принадлежат ее серверной части (возможен случай нескольких серверов).

Оперативные базы данных содержат информацию об отдельных направлениях деятельности организации. Хорошо известными примерами являются база данных бухгалтерии, данные по управлению персоналом, по оперативному управлению производством, архив договоров и т.д. На практике эти базы данных так или иначе существуют во всех организациях – если в организации есть корпоративная информационная система, то на единой платформе, если нет – то на различных платформах вплоть до полного отсутствия компьютерного представления. Проблема заключается в интеграции этих разрозненных данных для поддержки описанной выше технологии управления устойчивым развитием.



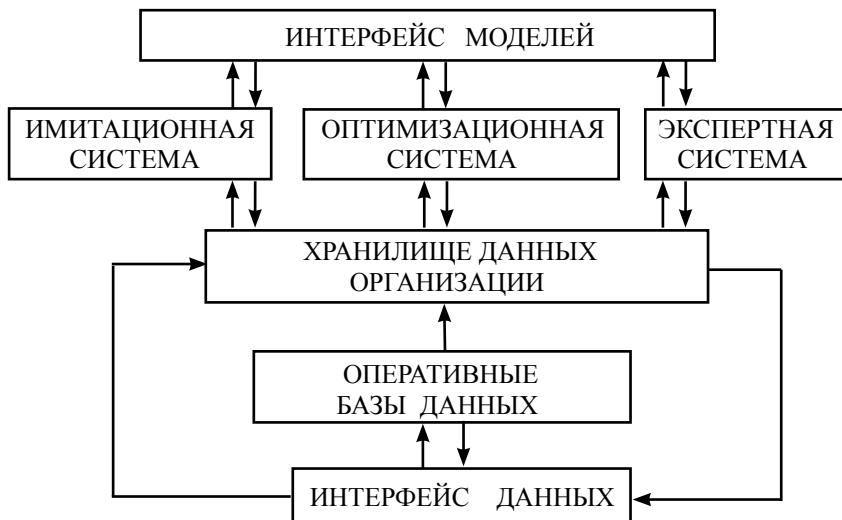


Рис.7.2.1. Структура КИМС управления устойчивым развитием организации

Эта задача решается на основе концепции хранилища данных (параграф 7.1). Хранилище поддерживает выполнение следующих функций:

- импорт данных из оперативных баз (при этом решаются задачи очистки данных, их агрегирования, обеспечения безопасности и интеграции данных);

- работа с массивами данных большой размерности, описывающих все стороны деятельности крупных организаций и необходимые сведения об их внешней среде;

- создание многоуровневых справочников метаданных – каталогов для пользователей;

- обработка пользовательских запросов и генерация отчетов. При этом наряду со стандартными отчетами формируются также интеллектуальные отчеты, основанные на технологиях OLAP и Data Mining.

Пользователи могут взаимодействовать как с оперативными базами, так и с хранилищем данных, при этом поддерживается диалоговый режим общения. Взаимодействие оперативных баз с хранилищем осуществляется программами внутреннего интерфейса и является односторонним (импорт данных из баз в хранилище).

В составе КИМС на логическом уровне выделяются имитационная, оптимизационная и экспертная системы (подсистемы). Разделение на имитационную и оптимизационную подсистемы является довольно условным; они могут быть объединены в составе модельной подсистемы, характеристика которой дана в таблице 7.2.1.

Таблица 7.2.1

### Модельная подсистема КИМС

Методы Режимы	Численные методы	Имитация
Оптимизация	Приближенный поиск оптимального решения	Проверка субоптимальных решений на соответствие дополнительным ограничениям
Прогноз	Приближенный расчет траекторий	Оценка последствий управляющих воздействий

Такой подход в основном соответствует концепции имитационной системы, разработанной в Вычислительном центре РАН (Моисеев и др. 1973; Павловский 2000). Классическая блок-схема имитационной системы приведена на рис. 7.2.2.

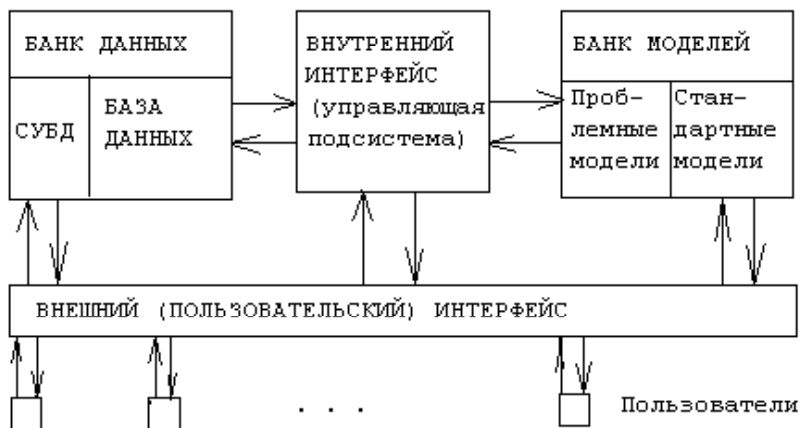


Рис. 7.2.2. Блок-схема имитационной системы

Опыт показал, что проведение расчетов по имитационной модели типа (4.3.1)-(4.3.2) само по себе не всегда позволяет ответить на все вопросы системного исследования. Необходимо сочетание формальных методов анализа модели и компьютерной имитации с опытом и знаниями экспертов, позволяющее учесть плохо формализуемые содержательные соображения.

Такое сочетание наиболее целесообразно реализовать в рамках специально организованной имитационной системы. Основной идеей имитационной системы является организация диалога с пользователем, в ходе которого пользователь может вносить коррективы в модели и расчетные схемы с учетом неформальных соображений и полученных в ходе работы результатов.

Центральное место в имитационной системе занимает банк моделей (точнее, их программных реализаций). Используемые в имитационной системе модели можно подразделить на две группы: проблемные и стандартные. Проблемные модели описывают изменение переменных состояния системы в ходе учитываемых процессов. Например, модель динамики численности популяций Ферхюльста-Пирла или модель экономики фон Неймана являются проблемными. Стандартные модели реализуют хорошо изученные классы математических задач, для которых известны методы решения. Например,

задача линейного программирования может быть реализована как стандартная модель.

Одну и ту же ситуацию можно формализовать с помощью разных стандартных моделей. Так, проблему размещения производственных предприятий можно описать моделью линейного программирования, а можно и более сложной моделью, учитывающей нелинейность связей. Одну и ту же динамическую систему можно описать системой обыкновенных дифференциальных уравнений или системой уравнений в частных производных, и т.д. С другой стороны, одна и та же стандартная модель может применяться для формализации различных по содержанию объектов. Например, с помощью задачи линейного программирования можно решать проблемы оптимального распределения промышленных или сельскохозяйственных ресурсов, а можно составлять оптимальный рацион. Система обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами может описывать процессы, происходящие в механических, биологических, экономических системах, и т.д.

Проблему информационного обеспечения моделирования решает хранилище данных, описанное выше.

Внутренний интерфейс осуществляет взаимодействие хранилища данных и банка моделей по заданной пользователем схеме. Из хранилища данных в банк моделей передаются начальные значения переменных и значения параметров, а назад возвращаются результаты расчетов, т.е. значения переменных состояния в конце периода прогноза. При этом интерфейсные программы решают ряд технических задач: контроль диапазонов значений, преобразование форматов данных и т.п. Внешний интерфейс обеспечивает пользователю возможность диалога с имитационной системой. Поскольку пользователь имитационной системы - это человек, не обязательно знакомый с моделированием и программированием, то очень важно сконструировать внешний интерфейс удобным (дружественным) для пользователя. К характеристикам удобства можно отнести:

- скорость реакции системы на запрос пользователя;
- простоту входного языка системы, на котором пользователь должен с ней общаться;
- доступность выходных сообщений и наглядность выводимых результатов расчетов;
- возможность корректировки процесса моделирования в интерак-

тивном режиме реального времени, и т.д.

Дружественность пользовательского интерфейса имитационной системы является одним из наиболее существенных факторов ее практической применимости и реализуемости идеи диалога, поэтому на разработку интерфейса не следует жалеть усилий. Совокупность даже очень хороших моделей, качественных данных и управляющих программ, лишенная удобного интерфейса, остается «вещью в себе», пригодной в лучшем случае для внутренних нужд разработчиков. Практики просто не станут иметь дела с такой системой. В этой связи важную роль приобретает форма представления результатов моделирования. Здесь следует отдавать предпочтение наиболее наглядным способам вывода данных, облегчающим их понимание и интерпретацию. К таким способам относятся карты, графики, диаграммы, таблицы и т.п. Для реализации удобного вывода могут понадобиться как программно-технические средства (плоттеры, графические пакеты и т.д.), так и аналитические (методы агрегирования информации).

Не вызывает сомнения тот факт, что наиболее полное и адекватное представление об организации как сложной системе можно получить лишь в том случае, когда для решения поставленной проблемы одна и та же организация исследуется с помощью нескольких моделей, отличающихся друг от друга как степенью сложности, так и используемым математическим аппаратом. Поэтому при организации имитационной системы полезно создавать несколько моделей. Имитационные модели можно подразделить на три типа: детальные, агрегированные и макромодел. К первому типу можно отнести имитационные модели, имеющие свыше десяти переменных состояния, ко второму - модели с 5-10 переменными, к третьему - модели, описывающие 2-4 основные характеристики моделируемой системы. Необходимость использования имитационных моделей различной степени подробности обуславливается следующими причинами.

Во-первых, для решения каждой отдельной задачи, составляющей часть общей проблемы, требуется свой уровень подробности описания реальной системы, следовательно, и определенный уровень детализации имитационной модели. Едва ли целесообразно, например, для решения задачи оценки эффективности инвестиционного проекта, имеющего продолжительность 4-5 лет, рассматривать со всеми подробностями процесс строительства отдельных зданий. Однако эти подробности могут представлять интерес для уточнения графиков строительства. Иными словами, выбор метода моделирования

определяется требованиями к точности получаемых с помощью моделей результатов.

Во-вторых, в силу того, что к настоящему моменту еще не разработана единая система организационного мониторинга, не всегда удается с достаточной точностью определить количественные зависимости из-за отсутствия данных. В этом случае приходится использовать макромоделли, которые, в отличие от детальных и агрегированных моделей, имеют целью уже не количественное описание функционирования системы, а выявление ее наиболее ярко выраженных качественных свойств и тенденций развития. Если же объем доступной информации увеличивается, то наиболее адекватными становятся детальные и агрегированные модели.

В-третьих, имея в распоряжении модели организаций всех трех типов, удобно осуществлять контроль качества их работы путем сравнения результатов решения одной и той же задачи с помощью разных моделей. Чаще всего сложность детальной имитационной модели сравнима со сложностью реальной организации. Поэтому результаты, получаемые с помощью детальной модели, далеко не тривиальны. Анализ и интерпретация этих результатов, оценка их достоверности весьма затруднены. Агрегированные модели и макромоделли можно считать последовательными упрощениями детальной имитационной модели до такой степени, чтобы можно было понять суть ее поведения. Например, структура равновесных состояний сложной системы оказывает существенное воздействие на ее динамическое поведение. Равновесные состояния легко найти по упрощенной модели, а затем указать возможную область равновесных состояний более сложной модели. На практике такой подход означает перенос идей, выработанных на одном уровне моделирования, на другой уровень для оценивания их применимости с точки зрения достоверности получаемых результатов. Сказанное приводит к концепции упрощенных моделей, схема которой представлена на рис. 7.2.3.

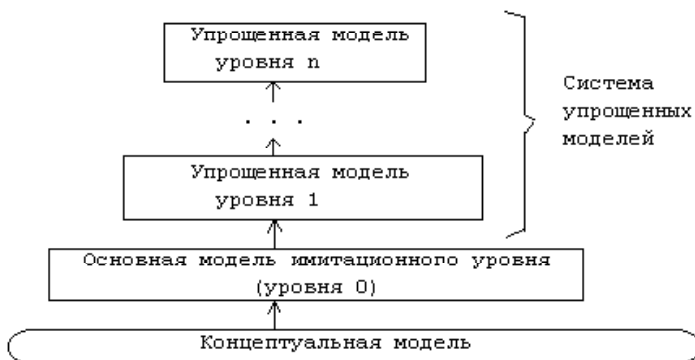


Рис. 7.2.3. Схема концепции упрощенных моделей

Большой интерес представляет совместное использование методов оптимизации и имитации. Решение оптимизационной задачи отвечает на вопрос “Как действовать наилучшим образом?”, выделяя оптимальный вариант решения из множества допустимых, и тем самым представляет наибольший интерес для практиков. Однако решить оптимизационную задачу (пусть приближенно) удастся далеко не всегда; еще существеннее то, что ее часто трудно даже поставить, т.е. сформулировать единственный критерий, полностью описывающий интересы действующего субъекта.

Имитационная модель отвечает на более “скромный” вопрос: “Что будет с системой, если действовать так-то?” и поэтому, в отличие от оптимизационной модели, всегда реализуема; но здесь возникают свои проблемы. Во-первых, нужно решить задачу идентификации, т.е. найти вид зависимостей между переменными и значения параметров (и зависимостей, и параметров здесь обычно гораздо больше, чем в оптимизационной задаче). Во-вторых, нужно решить, для каких сценариев проводить имитацию (для всех невозможно). В-третьих, не всегда ясно, как использовать результаты имитации на практике, и т.д.

Таким образом, имитационный и оптимизационный подходы являются во многом взаимодополняющими, и их сочетание может усилить достоинства обоих подходов. Возможны различные схемы

согласования имитационных и оптимизационных моделей. Рассмотрим в качестве примера модификацию схемы, ориентированной на исследование эколого-экономических систем (Угольницкий 1999), для задачи управления устойчивым развитием организации. Процедура согласования состоит из следующих этапов.

1. Осуществляется системный анализ организации, в результате которого определяются основные процессы ее функционирования и важнейшие связи между ними.

2. Формулируется оптимизационная задача (или ряд таких задач), целевая функция и ограничения которой отражают экономические требования.

3. Поставленная задача решается методами математического программирования, в результате чего определяется оптимальный план

$$u^* = \text{Arg max } g(u), u \in U$$

где  $g(u)$  - целевая функция оптимизационной задачи;  $U$  - множество ограничений.

4. Строится имитационная модель типа (4.3.1)-(4.3.2), описывающая функционирование организации. Вектор  $u$  должен входить в число управляющих воздействий этой задачи.

5. Проводится машинный эксперимент с построенной имитационной моделью при  $u=u^*$ , в ходе которого определяется фазовая траектория организации  $x(u^*, t)$  в течение периода прогноза.

6. Если фазовая траектория экосистемы в течение периода прогноза принадлежит области гомеостаза  $\Omega$ , то  $u^*$  есть экономически оптимальное и гомеостатически допустимое решение, которое можно рекомендовать в качестве управляющего воздействия.

7. В противном случае следует ослабить ограничения оптимизационной задачи, т.е. рассмотреть множество  $U' \supset U$ . Для получения множества  $U'$  могут использоваться различные приемы, преимущественно носящие эвристический характер с учетом содержательных соображений. После этого оптимизационная задача вновь решается на множестве  $U'$ , полученный оптимальный план  $u^{**} \in U'$  проверяется на гомеостатическую допустимость, и т.д.

Блок-схема предлагаемой процедуры согласования показана на рис. 7.2.4.



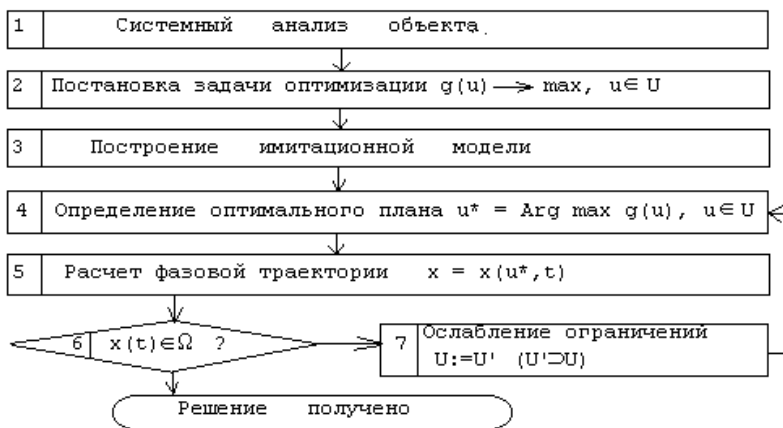


Рис. 7.2.4. Блок-схема процедуры согласования оптимизации и имитации при управлении устойчивым развитием организаций

Тем не менее, разделение имитационной и оптимизационной подсистемы на логическом уровне представляется целесообразным, поскольку имитационные и оптимизационные модели различны по своей природе. Так, имитационно-балансовая модель девелоперской компании описывает ее финансовые потоки при различных сценариях производственной деятельности, кредитной политики и покупательской активности. Приходная часть балансовой модели включает: собственные и кредитные средства, средства стратегических и доле-вых инвесторов, поступления от арендных платежей. Расходная часть баланса учитывает: возврат «тела» кредита и процентов по нему, затраты на проектирование и строительство новых объектов недвижимости, на содержание сдаваемых в аренду площадей, на маркетинг, рекламу и обслуживание клиентов, текущие расходы на содержание организации.

Управляющими переменными являются цена за  $1 \text{ м}^2$  при продаже недвижимости, арендная ставка за  $1 \text{ м}^2$  в месяц, затраты на маркетинг, рекламу и обслуживание клиентов, пропорции между объемами продажи и аренды коммерческой недвижимости. Сценарная часть

включает графики проектирования и строительства, продажи и сдачи в аренду, возврата кредитов, арендных платежей за землю. Разумеется, что модель содержит большое количество параметров, например: дата сдачи объекта в эксплуатацию, дата накопления величины «тела» кредита на целевых накопительных счетах, банковские процентные ставки и т.д.

Оптимизационные и теоретико-игровые модели управления в развитии рассмотрены в (Угольницкий 2009, 2010). Отметим, что принципы менеджмента качества допускают теоретико-игровую интерпретацию (табл. 7.2.2).

Таблица 7.2.2

**Теоретико-игровая интерпретация  
принципов менеджмента качества**

Принципы менеджмента качества	Теоретико-игровая интерпретация
Приоритет потребителя	В множество допустимых стратегий следует включать только те, которые ориентированы на удовлетворение потребителя
Лидерство руководителя	Предпочтение при теоретико-игровом моделировании отдается играм с иерархической структурой
Вовлечение персонала	Модели должны учитывать интересы сотрудников и механизмы их согласования
Процессный подход	Адекватные теоретико-игровые модели менеджмента должны быть динамическими, при этом динамика вектора состояния должна отражать деятельность организации как совокупность взаимосвязанных процессов
Системный подход	Построению теоретико-игровой модели должен предшествовать системный анализ организации, выделение наиболее существенных объектов и связей, целей и возможностей стейкхолдеров
Управление на основе фактов	Теоретико-игровые модели должны включать регламент информационного взаимодействия с учетом возможной неопределенности и средств ее преодоления
Постоянное улучшение	В динамической игре принятие решений на последующих шагах зависит от предыстории
Учет интересов поставщиков	Поставщики организации должны входить в множество игроков модели

Теоретико-игровую интерпретацию допускают также принципы и задачи менеджмента в формулировке одного из наиболее авторитетных экспертов в этой области Ф.Малика (2008) – см. табл.7.2.3-7.2.4.

Таблица 7.2.3

**Теоретико-игровая интерпретация  
принципов менеджмента по Ф.Малику**

Принципы менеджмента по Ф.Малику	Теоретико-игровая интерпретация
Нацеленность на результат	Стремление к максимизации функции выигрыша как основной принцип игр в нормальной форме (экономическая рациональность игроков)
Вклад в общее дело	Свойство супераддитивности характеристической функции в кооперативных играх. Учет вклада игрока в доход коалиции в векторе Шепли и других принципах оптимальности
Концентрация на ограниченном круге задач	Правильное определение множества допустимых значений каждого игрока при построении модели игры в нормальной форме
Опора на сильные стороны	Трактовка оптимальной стратегии игрока в игре в нормальной форме как выбора действия, акцентирующего его сильные стороны. Включение в коалицию в кооперативной игре именно тех игроков, которые могут принести ей максимальную пользу (основные игроки)
Доверие	В случае наличия неопределенности отсутствие доверия между игроками увеличивает затраты на приобретение этой информации и контроль поведения
Позитивное (конструктивное) мышление	Полная реализация возможностей игроков на добровольной основе. Переход от иерархии к кооперации (метод убеждения)

Таблица 7.2.4

**Теоретико-игровая интерпретация  
задач менеджмента по Ф.Малику**

Задачи менеджмента по Ф.Малику	Теоретико-игровая интерпретация
Управление целями	Воздействие Ведущего на функции выигрыша подчиненных; на более общем уровне – сама формулировка функций выигрыша игроков
<p>Организационный процесс:</p> <p>а) концентрировать внимание на том, за что платят потребители;</p> <p>б) сотрудники должны делать то, за что им платят;</p> <p>в) высшее руководство должно делать то, за что ему платят</p>	<p>Разыгрывание многошаговой игры по различным регламентам:</p> <p>а) точное определение функции выигрыша организации;</p> <p>б) точное определение функций выигрыша и допустимых стратегий сотрудников и иерархическое управление ими;</p> <p>в) аналогично в отношениях владельцев и топ-менеджеров</p>
Принятие решений: «для хороших менеджеров быстрый консенсус, определенно, не естественен» (Малик 2008:240)	Принятие решений в организации как неизбежный компромисс при необходимости согласования интересов (собственно теоретико-игровая модель)
Контроль	Контроль дополнителен к доверию (см. табл.7.2.3)
Развитие персонала	Теоретико-игровая формализация методов иерархического управления персоналом

Экспертная подсистема описана в параграфе 7.1: следует заметить, что имитационные и оптимизационные модели также можно трактовать как специфические механизмы логического вывода.

Имитационно-моделирующие системы целесообразно использовать для управления устойчивым развитием не только организаций, но и территорий. Приведем в качестве примера проект разработки информационно-моделирующей системы поддержки управленче-

ских решений по устойчивому развитию региона (ИМС «Регион»), позволяющей решать следующие задачи:

- а) обеспечение открытого доступа всех заинтересованных лиц к информации о состоянии природной среды, антропогенных воздействиях на нее, уровне экологической и техногенной безопасности;
- б) мониторинг состояния окружающей природной среды;
- в) прогноз динамики состояния окружающей среды при различных стратегиях хозяйственной деятельности, при сбросе разных по составу и количеству промышленных и сельскохозяйственных отходов;
- г) оптимизация хозяйственного воздействия на окружающую среду;
- д) проведение экологической экспертизы хозяйственных проектов;
- е) предупреждение чрезвычайных экологических ситуаций и управление действиями в условиях чрезвычайных экологических ситуаций.

В настоящее время:

- реализована информационно-аналитическая система контроля экологического состояния окружающей среды и природопользования городов и районов Ростовской области;
- разработана концепция и математические модели иерархического управления устойчивым развитием эколого-экономических систем и социальных организаций;
- разработан программный комплекс поддержки решений по управлению качеством водных ресурсов;
- разработан проект информационно-аналитической системы комплексного экологического мониторинга Ростовской области.

Укрупненная схема ИМС показана на рис.7.2.5.



Рис.7.2.5. Укрупненная схема ИМС «Регион»

Аналитический блок ИМС «Регион» представляет собой имитационно-экспертную систему, в состав которой входят: имитационные модели прогнозирования последствий хозяйственной деятельности с учетом возможных рисков; теоретико-игровые модели иерархического управления устойчивым развитием; экспертные правила оценки принимаемых решений;

механизм вывода рекомендаций, основанных как на экспертных правилах, так и на результатах модельного анализа. Информационный блок включает данные о состоянии природной среды, о хозяйственной деятельности и нормативно-справочные данные. Блок обеспечивает: представление данных в удобном для пользователя виде; информационную поддержку работы аналитического блока. Интерфейсные блоки обеспечивают внутреннее взаимодействие блоков и взаимодействие ИМС с пользователями. Планируемая ИМС предназначена для пользователей, не искушенных в тонкостях работы на компьютере, обладает простой и доступной программной обо-

лочкой с развитым диалоговым режимом работы. Основная научно-техническая и практическая ценность предполагаемой ИМС состоит в формализации системы экологического контроля, повышении эффективности ее функционирования; организации оперативного коллективного доступа к банкам экологических данных подразделений и служб регионального природоохранного органа; организации информационной поддержки принятия решений; повышении достоверности данных мониторинга за счет автоматизированного контроля их непротиворечивости.

Ожидаемые результаты проекта ИМС «Регион»:

- 1) увеличение открытости деятельности природоохранных органов, расширение доступа населения к экологической информации;
- 2) повышение эффективности контрольно-аналитической работы территориальных подразделений природоохранных министерств и ведомств;
- 3) оптимизация экологических последствий хозяйственных решений;
- 4) функциональная схема автоматизированной системы оценки мониторинга и управления риском для совокупности потенциально опасных объектов;
- 5) создание комплекта доступных инженерно-техническому персоналу пользовательских программ для подготовки и обработки исходной информации, а также для расчета показателей риска.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предыдущей монографии автора (Угольницкий 2010) изложена концепция иерархического управления устойчивым развитием. Следуя давним традициям, можно выделить три источника этой концепции.

Во-первых, теория устойчивого развития отношений общества и природной среды. В рамках исследований и публичных обсуждений этого направления, порожденных обострением экологических проблем в конце прошлого столетия, было достигнуто понимание устойчивого развития (sustainable development) как такого развития экономики, которое совместимо с требованиями экологического равновесия. В другом аспекте, интересы потребления текущего поколения не должны нарушать права и интересы последующих поколений. Таким образом, существенными условиями устойчивого развития являются следующие: выполнение как требований экономического развития, так и требований экологического равновесия; соблюдение этих требований на бесконечном или весьма длительном интервале времени; необходимость согласования несовпадающих интересов при непрерывном выполнении ключевых требований.

Во-вторых, теория управления динамическими системами. В рамках этой теории построены и исследованы модели управляемых динамических систем в различных модификациях, введены и формализованы такие понятия, как вектор состояния, вектор управляющих воздействий, управляющая и управляемая подсистемы, цель управления, критерии оптимальности управления, устойчивость, обратная связь.

В-третьих, методы иерархического управления и их математическая формализация. Выделяются три группы методов управления в иерархических системах: административно-законодательные (принуждение), экономические (побуждение), социально-психологические (убеждение). Основными направлениями математической формализации механизмов управления в иерархических системах являются информационная теория иерархических систем (ВЦ РАН, МГУ), теория активных систем (ИПУ РАН), теория контрактов (западные



исследования, тесно связанные с микроэкономической теорией). Основным математическим аппаратом здесь выступает теория иерархических игр.

В ходе авторских исследований были установлены возможность и целесообразность:

- формализации понятия устойчивого развития и его обобщения на более широкий класс произвольных динамических систем с участием людей;

- перехода от классической модели управляемой динамической системы к модели иерархически управляемой динамической системы, в которой управляющая подсистема (субъект управления) имеет сложную иерархическую структуру, включающую активные элементы;

- формализации методов иерархического управления как решений иерархической игры. Эти результаты составили основу концепции иерархического управления устойчивым развитием динамических систем с участием людей.

В свою очередь, на следующем этапе исследований эта концепция выступает одним из трех источников анализа устойчивого развития организаций. Другим источником является менеджмент качества и стратегическое управление организациями. В рамках этой проблемной области разработана теория стратегических ориентиров корпорации, выделены и проанализированы интересы и возможности влияния основных субъектов, ассоциированных с организацией (стейкхолдеров), сформулированы принципы менеджмента качества, утверждены стандарты менеджмента качества, определяющие ряд требований к организационному управлению. Третьим источником служат информационные технологии моделирования сложных систем. Это обусловлено тем, что проблематика устойчивого развития организаций имеет выраженную практическую направленность и требует для своей реализации определенного материального базиса, роль которого играют информационные системы. В рамках этого направления изучены структура, функции и методы реализации корпоративных информационных систем, достигнуто понимание целесообразности их дополнения аналитическими и моделирующими

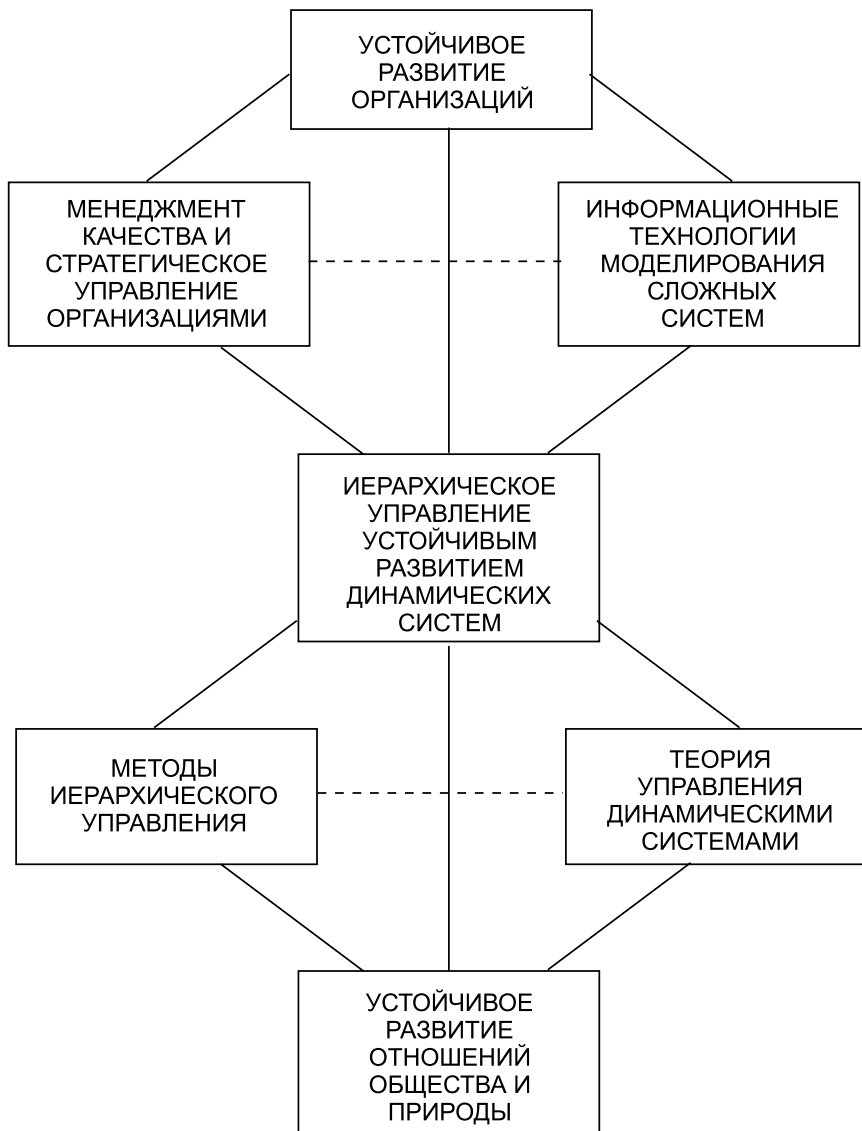
компонентами и получены определенные результаты на пути построения соответствующих инструментальных средств.

Следуя вышеуказанным традициям, можно выделить также три составные части теории устойчивого развития организаций: системный анализ, математические модели и информационные технологии управления, отраженные в подзаголовке монографии.

В ходе авторских исследований и разработок были показаны: совместимость принципов менеджмента качества и условий устойчивого развития организации; возможность представления условия гомеостаза организации как устойчивости ее равновесного состояния, задаваемого с помощью совокупности плановых значений показателей процессов ее деятельности; необходимость организационного мониторинга и возможность его оптимизации на основе двойственных задач типа «точность-затраты»; целесообразность разработки системы стимулирования, поощряющей выполнение плановых значений показателей процессов и штрафующей за отклонение от них, как механизма автоматизации корректирующих действий менеджмента качества; перспективность использования имитационного моделирования на основе метода сценариев для реализации предупреждающих действий менеджмента качества; необходимость учета и преодоления оппортунистического поведения на основе теоретико-игровых моделей, описывающих условия компромисса и динамической согласованности; необходимость разработки и сопровождения корпоративной информационно-моделирующей системы как инструмента обеспечения устойчивого развития организации.

В целом полученную логическую конструкцию можно схематично изобразить в виде двух тетраэдров с общей вершиной, показанных на следующем рисунке.

Представляется, что общая концепция устойчивого развития и ее конкретизация для организаций и территорий могут внести важный вклад в формирование той самой национальной идеи, которой так не хватает в настоящее время нашей стране.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Угольницкий Геннадий Анатольевич  
(1962 г.р.).

Доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
прикладной математики и программирования  
Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону).

Область научных интересов – мате-  
матическое моделирование иерархи-  
ческих структур и механизмов управ-  
ления в организационных и эколого-  
экономических системах.

E-mail: [ougoln@mail.ru](mailto:ougoln@mail.ru)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдикеев Н.М., Данько Т.П., Ильдеменов С.В., Киселев А.Д. Реинжиниринг бизнес-процессов. - М., 2005.
2. Агафонов Н.Т., Исляев Р.А. Основные положения концепции перехода Российской Федерации на модель устойчивого развития. - СПб., 1995.
3. Агиева М.Т., Мальсагов М.Х., Угольницкий Г.А. Моделирование иерархической структуры управления образованием. - Ростов-на-Дону, 2003.
4. Адизес И. Управление жизненным циклом корпорации. – СПб., 2007.
5. Алфимов М.В. Бизнес, наука и техника в контексте устойчивого развития России // Цивилизованный бизнес как фактор устойчивого развития России. - М., 1999.
6. Андерсен Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования. – М., 2003.
7. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. – М., 1999.
8. Беллман Р. Динамическое программирование. – М., 1960.
9. Бернар К. Курс общей физиологии. Жизненные явления, общие животным и растениям. - М., 1878.
10. Бертон И. Глобальное потепление и районы устойчивости // Глобальные изменения и региональные взаимосвязи. - М., 1992.
11. Бир Ст. Мозг фирмы. – М., 1993.
12. Бремзен А.С., Гуриев С.М. Конспекты лекций по теории контрактов. - <http://nes.ru/russian/research/abstracts/2005/GurievBremzen-r.htm>.
13. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М., 1977.
14. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. – М., 1999.
15. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. – М., 2008.

16. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. – М., 1973.
17. Вагнер Г. Основы исследования операций. Том 1. - М.: Мир, 1972.
18. Васильева О.Н., Засканов В.В., Иванов Д.Ю., Новиков Д.А. Модели и методы материального стимулирования (теория и практика) / Под ред. проф. В.Г. Засканова и проф.Д.А. Новикова. – М., 2007.
19. Винер Н. Человеческое использование человеческих существ // Человек управляющий. – СПб., 2001.
20. Владимирцев А.В., Шеханов Ю.Ф. Принцип постоянного улучшения в проектах МС ИСО семейства 9000:2000. - Методы менеджмента качества, 2000, № 10, с.4–8.
21. Вумек Дж.П., Джонс Д.Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. – М., 2005.
22. Выборнов Р. А. Модели и методы управления организационными системами с коррупционным поведением участников. - М., 2006.
23. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова Е.Б. Адаптационные реакции и резистентность организма. - Изд-во Ростовского ун-та, 1979.
24. Географические аспекты проблемы перехода к устойчивому развитию стран Содружества Независимых Государств. - Киев-М., 1999.
25. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. – М., 1976.
26. Гермейер Ю.Б., Ватель И.А. Игры с иерархическим вектором интересов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1974. - №3.
27. Гламаздин Е.С., Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы управления корпоративными программами: информационные системы и математические модели. – М., 2003.
28. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М., 2007.
29. Горбанева О.И., Угольницкий Г.А. Модели распределения ресурсов в иерархических системах управления качеством

- речной воды // Управление большими системами. – Вып. 26. – М., 2009. – С.64-80.
30. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. – М., 1982.
  31. Горстко А.Б., Суходольский Я.С. Некоторые вопросы теории оптимального мониторинга водных экосистем // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1981. Т.4. С.67-85.
  32. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в прикладной системный анализ. - Ростов-на-Дону, 1996.
  33. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. - М., 1995.
  34. ГОСТ Р 50.1.028-2001. Рекомендации по сертификации. – М., 2001.
  35. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. - М., 2008.
  36. ГОСТ Р ИСО 9001-2001 Системы менеджмента качества. Требования. - М., 2001.
  37. Грешневиков А., Лемешев М. Подоплека «устойчивого развития» // Независимая газета. 02.06.2000.
  38. Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. - М., 2003.
  39. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. – М., 2002.
  40. Гурков И.Б. Стратегия и структура корпорации. – М., 2006.
  41. Гурман В.И., Кульбака Н.Э., Рюмина Е.В. Опыт социо-эколого-экономического моделирования развития региона // Экономика и математические методы. 1999. Т.35. №3. С.69-79.
  42. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. - М., 2000.
  43. Девелопментнедвижимости. Справочник для профессионалов. Под ред. проф. И.И.Мазура и проф. В.Д.Шапиро. – М., 2009.
  44. Деминг Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами. – М., 2007.
  45. Денин К.И., Угольницкий Г.А. Теоретико-игровая модель

- коррупции в системах иерархического управления // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2010. - №1. – С.192-198.
46. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. – М., 2006.
  47. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М., 2001.
  48. Дик В.В. Методология формирования решений в экономических системах и инструментальные среды их поддержки. – М., 2000.
  49. Дрейер О.К., Лось В.А. Экология и устойчивое развитие.- М., 1997.
  50. Друкер П.Ф. Энциклопедия менеджмента. – М., 2008.
  51. Евтушенко Ю.Г., Краснощеков П.С., Моисеев Н.Н., Павловский Ю.Н. Имитационные системы // Экономика и организация промышленного производства. - 1973. - №6. - С. 39-46.
  52. Елиферов В.Г. Управление качеством. Сказки, мифы и проза жизни. -М., 2006.
  53. Заренков В.А. Управление проектами. – М.-СПб., 2006.
  54. Зенкевич Н.А., Петросян Л.А., Янг Д.В.К. Динамические игры и их приложения в менеджменте. – СПб., 2009.
  55. Иванов М.А., Шустерман Д.М. Организация как ваш инструмент. Российский менталитет и практика бизнеса. – М., 2006.
  56. Иноземцев В.Л. Творческие начала современной корпорации // Иноземцев В.Л. За десять лет. К концепции постэкономического общества. – М., 1998.
  57. Кабалина В., Кларк С. Приватизация и контроль над предприятиями в России // Мировая экономика и международные отношения. 1995. №12.
  58. Калянов Г.Н. Построение архитектуры предприятия // Корпоративные системы. – 2005. – № 3.
  59. Каплан Р.С., Нортон Д.П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. – М., 2004.
  60. Кастельс М. Информационная эпоха. Экономика, общество и культура. – М., 2000.
  61. Клейменов А.Ф. Неантагонистические позиционные



- дифференциальные игры. – Екатеринбург, 1993.
62. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. – Вып.1-2. – М., 1978.
  63. Кондратьев К.Я. Глобальная экодинамика и устойчивое развитие: естественнонаучные аспекты и «человеческое» измерение // Изв. Русского геогр.общества. 1997. Т.129. В.6. С.1-12.
  64. Кондратьев К.Я., Романюк Л.П. Устойчивое развитие: концептуальные аспекты // Изв. Русского геогр.общ-ва. 1996. Т.128. В.6. С.1-12.
  65. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Лакаса Х., Савиных В.П. Глобализация и устойчивое развитие. Экологические аспекты. Введение. - СПб., 2005.
  66. Корниенко С.А., Угольницкий Г.А. Оценка качества в производственных системах различной структуры // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении». – М.: ИПУ РАН, 2010. – С.319-336.
  67. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. – М., 1974.
  68. Круглов М.Г., Шишков Г.М. Менеджмент качества как он есть. – М., 2006.
  69. Кувалдин Д. Экономический кризис 90-х: реакция предприятий // Российский экономический журнал. 2000. №8.
  70. Кукушкин Н.С. Роль взаимной информированности сторон в играх двух лиц с противоположными интересами // ЖВМ и МФ, 1972, №2, с.312-320.
  71. Кузнецов О.Л., Большаков Б.Е. Устойчивое развитие. Научные основы проектирования в системе природа-общество-человек. - СПб.-М.-Дубна, 2002.
  72. Курбатов В.И., Угольницкий Г.А. Математические методы социальных технологий. – М., 1998.
  73. Лавров С.Б. Реалии глобализации и миражи устойчивого развития // Изв. Русского геогр.общ-ва. 1999. Т.131. В.3. С.1-8.
  74. Лавров С.Б., Селиверстов Ю.П. Концепция устойчивого развития: стереотипы и реальность (концепция РГО) //

- Географические проблемы стратегии устойчивого развития природной среды и общества. М., 1996. С.42-47.
75. Левин К. Разрешение социальных конфликтов. - СПб., 2000.
  76. Ледяев В.Г. Власть: концептуальный анализ. – М., 2001.
  77. Лоу Аверилл М., Кельтон Дэвид В. Имитационное моделирование. - СПб., 2004.
  78. Львов Д.С. Экономика развития. - М., 2002.
  79. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Реструктуризация предприятий и компаний. – М., 2001.
  80. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Корпоративный менеджмент. – М., 2005.
  81. Малик Ф. Управлять, работать, жить. Эффективный менеджмент для новой эры. – М., 2008.
  82. Малинецкий Г.Г., Шакаева М.С. Модель иерархической организации. Препринт ИПМ РАН. №39. - М., 1995.
  83. Малкин И.Г. Теория устойчивости. – М., 1952.
  84. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М., 1982.
  85. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М., 2005.
  86. Матвеев В.Ф., Ушаков В.Г. Системы массового обслуживания. – М., 1984.
  87. Менеджмент процессов. Под ред. Й.Беккера и др. – М., 2007.
  88. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / Барсегян А.А. и др. – СПб., 2004.
  89. Методы структурной настройки систем управления производством / Сыроежин И.М., Забежинская Е.Б., Захарченко Н.Н. и др. – М., 1976.
  90. Минцберг Г., Куинн Дж.Б., Гошал С. Стратегический процесс. – СПб., 2001.
  91. Михайлов А.П. Модель коррумпированных властных иерархий // Математическое моделирование. 1999. Т 11. №1. С.3-17.
  92. Михайлов А.П., Ланкин Д.Ф. Моделирование оптимальных стратегий ограничения коррупции // Математическое моделирование. 2006. Т.18. №12. С.115-124.
  93. Модели управления природными ресурсами / Под ред.

- В.И.Гурмана. - М., 1981.
94. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. – М., 1979.
95. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М., 1981.
96. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. - М., 1998.
97. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. - М., 1985.
98. Мониторинг: от приложений к общей теории / Под ред. Г.А.Угольницкого. – Ростов-на-Дону, 2009.
99. Мулен Э. Теория игр с приложениями к математической экономике. – М., 1985.
100. Мулен Э. Кооперативное принятие решений. Аксиомы и модели. – М., 1991.
101. Нив Г. Организация как система. Принципы построения устойчивого бизнеса Эдвардса Деминга. – М., 2007.
102. Новая парадигма развития России. Комплексные исследования проблем устойчивого развития. Под ред. В.А.Коптюга, В.М.Матросова, В.К.Левашова. - М., 1999.
103. Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. – М., 2003. – 312 с.
104. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М., 2007.
105. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. – М., 2007.
106. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. – М., 1999.
107. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. – М., 2000.
108. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М., 2003.
109. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. – М., 1978.
110. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход. – М., 2005.
111. Нурутдинова И.К., Угольницкий Г.А. Построение механизма стимулирования на основе перераспределения фонда оплаты

- труда // Управление большими системами. Вып.31. – М., 2010. – С. 250-264
112. Опойцев В.И. Нелинейная системостатика. – М., 1986.
113. Орлов А.И. Эконометрика. - М., 2004.
114. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. – М., 2000.
115. Перевалов Ю., Басаргин В. Формирование структуры собственности на приватизированных предприятиях // Вопросы экономики. 2000. №5.
116. Переход к устойчивому развитию: глобальный, региональный и локальный уровни. Зарубежный опыт и проблемы России. / Рук. авт. колл. Н.Ф.Глазовский. - М., 2002.
117. Петросян Л.А. Устойчивость решений в дифференциальных играх со многими участниками // Вестник Ленингр.ун-та. Сер.1. 1977. Вып.4. №19. С.46-52.
118. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семина Е.А. Теория игр. – М., 1998.
119. Петросян Л.А., Кузютин Д.В. Устойчивые решения позиционных игр. – Изд-во СПбГУ, 2008.
120. Петросян Л.А., Ширяев В.Д. Иерархические игры. – Саранск, 1986.
121. Писарев В.Д. Глобальная стратегия устойчивого развития: опасные тенденции и превентивные меры России. - М., 1999.
122. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М., 1984.
123. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М., 1961.
124. Процессный подход в стандартах ИСО серии 9000 и на практике / Под общ. ред. Герасимовой Г.Е. – М., 2006.
125. Пфедфер Дж., Саттон Р. Доказательный менеджмент. Новейшая концепция управления от Гарвардской школы бизнеса. – М., 2008.
126. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П. Устойчивое развитие в России. Опыт критического анализа. - Тольятти, 1995.
127. Робертс Ф. Дискретные математические модели с приложениями к социальному, биологическому и экологическому

- задачам. – М., 1986.
128. Рубцов С. Опыт использования стандарта IDEF0 // Открытые системы. - 2003. - №1.
129. Рыбасов Е.А., Угольницкий Г.А. Математическое моделирование иерархического управления эколого-экономическими системами с учетом коррупции // Компьютерное моделирование. Экология. - Вып.2. Под ред. Угольницкого Г.А. - М., 2004. - С.46-65.
130. Рюмина Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий. - М., 2000.
131. Савин Г.И. Системное моделирование сложных процессов. – М., 2000.
132. Селье Г. Очерки об адапционном синдроме. - М., 1960.
133. Сигал И.Х. Задача о рюкзаке: теория и вычислительные алгоритмы. - М., 1999.
134. Системы менеджмента качества. Требования. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. – М., 2009.
135. Сорокин П.А. Социальная и культурная динамика. Исследование изменений в больших системах искусства, истины, этики, права и общественных отношений. – СПб., 2000.
136. Таха Х.А. Введение в исследование операций. – М., 2005.
137. Тиори Т., Фрай Дж. Проектирование структур баз данных. – В 2-х книгах. - М., 1985.
138. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности. В 2-х томах. – СПб., 2000.
139. Тихонов С.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов в системах массового обслуживания. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Ростов-на-Дону, 2009.
140. Тоффлер О. Адаптивная корпорация // Новая постиндустриальная волна на Западе. – М., 1999.
141. Тураев В.А. Глобальные вызовы человечеству. - М., 2002.
142. Угольницкий Г.А. Линейная теория иерархических систем. - М., 1996.
143. Угольницкий Г.А. Моделирование иерархически управляемых экологических систем. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Ростов-на-

- Дону, 1997.
144. Угольницкий Г.А. Управление эколого-экономическими системами. - М., 1999.
  145. Угольницкий Г.А. Модели социальной иерархии. - М., 2000.
  146. Угольницкий Г.А. Теоретико-игровое исследование некоторых способов иерархического управления // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2002. - №1. - С.97-101.
  147. Угольницкий Г.А. Иерархическое управление устойчивым развитием социальных организаций // Общественные науки и современность. - 2002. - №3. - С.133-140.
  148. Угольницкий Г.А. Математическое моделирование иерархического управления устойчивым развитием // Компьютерное моделирование. Экология. Вып.2. - М., 2004. - С.101-125.
  149. Угольницкий Г.А. Информационно-аналитические системы управления устойчивым развитием организаций и территорий // Моделирование сложных систем. Современные направления теории и практические приложения. - Воронеж, 2004. - С.152-155.
  150. Угольницкий Г.А. Теоретико-игровые принципы оптимальности иерархического управления устойчивым развитием // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2005. - №4. - С.72-78.
  151. Угольницкий Г.А. Оптимизационные и теоретико-игровые модели управления инвестиционно-строительными проектами // Математическая теория игр и ее приложения. - 2009. - Т.1. - Вып.2. - С.82-97.
  152. Угольницкий Г.А. Иерархическое управление устойчивым развитием. - М., 2010.
  153. Угольницкий Г.А., Тихонов С.В. Модель инвестиционно-строительной организации как системы массового обслуживания // Проблемы теории и практики управления. - 2008. - №4. - С.40-47.
  154. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Структурные особенности систем управления и методы управления // Проблемы теории и практики управления. - 2007. - №2. - С.33-39.
  155. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Математическая формализация

- методов иерархического управления эколого-экономическими системами // Проблемы управления. – 2007. – №4. – С.64-69.
156. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Информационно-аналитическая система управления эколого-экономическими объектами // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – №2. – С.168-176.
157. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Управление сложными эколого-экономическими системами // Автоматика и телемеханика. – 2009. – №5. – С.169-179.
158. Угольницкий Г.А., Чердынцева М.И. Компьютерная имитация устойчивого развития эколого-экономических систем // Компьютерное моделирование. Экология. - Вып.2. - М., 2004. - С.126-135.
159. Уильямсон О. Поведенческие предпосылки современного экономического анализа // Thesis. – 1993. – Вып.3. – С.39-49.
160. Уильямсон О. Экономические институты капитализма. Фирмы, рынки, «отношенческая» контрактация. – СПб., 1996.
161. Управление – это наука и искусство: А.Файоль, Г.Эмерсон, Ф.Тейлор, Г.Форд. – М., 1992.
162. Фатхутдинов Р., Сивкова Л. Принуждение, побуждение, убеждение: новый подход к методам управления // Управление персоналом. - 1999. - №2. - С.32-40.
163. Хачатурян А.А. Управление человеческими ресурсами в бизнес-организации. Стратегические основы. – М., 2008.
164. Хованский А.Д., Хлобыстов В.В., Парашенко М.В., Панова С.В. Планирование устойчивого развития на местном уровне. - Ростов-на-Дону, 2000.
165. Цветков А.В. Стимулирование в управлении проектами. – М., 2001.
166. Шадрин А.Д. Менеджмент качества. От основ к практике. – М., 2005.
167. Шведин Б.Я. Онтологическая модель кадровой и организационно-плановой сфер деятельности крупномасштабной организации // Научно-технологические. – 2006. - Т.7. - №6. – С.13-35.
168. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство

- и наука. – М., 1978.
169. Шураев О.П., Марков К.В. Имитационные компьютерные системы как высокоэффективное средство обучения / Новые информационные технологии: сб. тр. VII Всероссийской научно-техн. конф. – М.: МГАПИ, 2004. – С. 149–152.
170. Эколого-экономические системы: модели, информация, эксперимент / В.И.Гурман, В.А.Дыхта, Н.Ф.Кашина и др. - Новосибирск, 1987.
171. Aall C. Sustainability Concept as Viewed by the Local Authorities // Regions. - 2000. - P.39-44.
172. Aalst W.M.P. van der. The application of Petri nets to workflow management // J. Circuits, Syst. Comp. – 1998. – Vol. 8. – No. 1. – P. 21-66.
173. Aalst W.M.P. van der and Hofstede A.H.M. ter. YAWL: Yet another workflow language (revised version) // Queensland Univ. Technol., Brisbane, Australia: QUT Tech. Rep. - FIT-TR-2003-04. – 2003.
174. Agilar-Saven R.S. Business process modeling: Review and framework // Int. J. Prod. Econ. - 2004. - Vol. 90. - P. 129-149.
175. Bac M. Corruption and Supervision Costs in Hierarchies // Journal of Comparative Economics. - 1996. - N22.
176. Badica C. et al. A new formal IDEF-based modeling of business processes // Proc. 1st Balkan Conf. Inf., Y. Manolopoulos and P.Spikaris, Eds. – Thessalonica, Greece, 2003. – P. 535-549.
177. Badica K., Teodorescu M., Spahiu C., Badica A. Integrating Role Activity Diagrams and Hybrid IDEF for Business Process Modeling using MDA // Proc. 17th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC'05). – 2005.
178. Bardhan P. Corruption and Development: a Review of Issues // Journal of Political Economy. - 1996. - N 31.
179. Bolton P., Dewatripont M. Contract Theory. – MIT Press, 2004.
180. Boyett, J.H. and Cohn, H.P. Workplace 2000: The Revolution Reshaping American Business. – N.Y.: Dutton, 1991.
181. Cannon W. The Wisdom of the Body. - L., 1932.
182. Carley M., Christie I. Managing Sustainable Development. - Minneapolis, 1993.



183. Chou Y. and Chen Y. The methodology for business process optimized design // In Proc. Ind. Electron. Conf. (IECON). – 2003. – Vol. 2. – P. 1819-1824.
184. Codd E.F., Codd S.B., Salley C.T. Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to user-analysts: An IT mandate. Technical report, 1993.
185. Coenen F., Eckerberg K., Lafferty W.M. Implementation of Local Agenda 21 in twelve European countries. A comparative analysis // Regions. - 2000. - P.99-108.
186. Davenport T.H. Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology. - Boston, MA: Harvard Business School Press, 1993.
187. De Crespigny A. Power and Its Forms // Political Studies. - 1968. - Vol.16. - N2. - P.192-205.
188. Donatelli S., Ribaud M. and Hillston J. A comparison of performance evaluation process algebra and generalized stochastic Petri nets // Proc. 6th Int. Workshop Petri Nets Perform. Models (PNPM 1995). – 1995. – P. 158.
189. Drucker P.F. The New Realities. – Oxford, 1996.
190. Drucker on Asia. A Dialogue between Peter Drucker and Isao Nakauchi. – Oxford, 1997.
191. Earl M.J. The new and the old business process redesign // Journal of Strategic Information Systems. – 1994. – 3(1). – pp. 5-22.
192. Ferrie J. Business processes: a natural approach / ESRC Business Processes Resource Centre, University of Warwick. – 1995.
193. Flavin M. Fundamental Concepts of Information Modeling. – Prentice Hall, 1981.
194. French J.R.P.Jr., Raven B. The Bases of Social Power // Studies in Social Power. Ed. D.Cartwright. Ann Arbor, 1959. - P.150-167.
195. Gore A. Earth in the Balance. Ecology and the Human Spirit. - N.Y., 1993.
196. Gou H., Huang B., Liu W., Ren S., Li Y. Petri-net-based business process modeling for virtual enterprises // 2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. – 2000. – Vol. 5. – P. 3183-3188.
197. Grigori D., Casati F., Castellanos M., Dayal U., Sayal M., Shan M.-C. Business Process Intelligence // Computers in Industry

- Journal. – 2004. – April. - Special issue on workflow mining. – Vol 53/3. – P. 321-343.
198. Hammer M. Beyond Reengineering. How the Process-Centered Organization is Changing Our Work and Our Lives. – N.Y., 1996.
199. Hammer M. and Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. - London, U.K.: Brealey, 1993.
200. Havey M. Essential business process modeling. - Sebastopol, CA: O'Reilly, 2005.
201. Hlupic V. and Robinson S. Business Process Modeling and Analysis Using Discrete-Event Simulation // Proc. of 1998 Winter Simulation Conference. – 1998. - P. 1363-1369.
202. Hofacker I. and Vetschera R. Algorithmic approaches to business process design // Comp. Oper. Res. – 2001. – Vol. 28. – P. 1253-1275.
203. IDEF3 Process Description Capture: Method Report // Armstrong Laboratory, Human Resources Directorate, Logistics Research Division. - Wright-Patterson AFB, 1995.
204. Inmon W.H. Building the Data Warehouse. – J.Wiley and Sons, 2002.
205. Ishikawa K. Introduction to Quality Control. - Tokyo: 3A Corporation, 1990.
206. Kettinger W. J., Teng J.T.C. and Guha S. Business process change: A study of methodologies, techniques and tools // MIS Q. – 1997. - Vol. 21. - No. 1. - P. 55-80.
207. Kidland F.E., Prescott E.C. Rules rather than decisions: the inconsistency of optimal plans // Journal of Political Economy, 1977. -Vol.85. - P.473-490.
208. Knuth D.E. Computer-drawn flowcharts // ACM Comm. – 1963. – Vol. 6. – No. 9. – P. 555-563.
209. Koubarakis M. and Plexousakis D. A formal framework for business process modeling and design // Inf. Syst. – 2002. – Vol. 27. – P. 299-319.
210. Laffont J.-J., Martimort D. The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model. – Princeton, 2002.
211. Li H, Yang Y., and Chen T.Y. Resource constraints analysis of

- workflow specifications // Syst. Software. – 2004. – Vol. 73. – P. 271-285.
212. Mayer R.J., DeWitte P.S. and Blinn T.M. Framework of Frameworks. Knowledge Based Systems, Inc.: Internal Report / College Station, TX. – 1994.
213. McConnell J., Servaes H. Additional Evidence on Equity Ownership and Corporate Value // Journal of Financial Economics. - 1990. - V.17.
214. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W.III. The Limits to Growth. - N.Y., 1972.
215. Melao N. and Pidd M. A conceptual framework for understanding business process modeling // Inf. Syst. – 2000. – Vol. 10. - P. 105-129.
216. Menzel C. and Mayer R. Modeling Process Structure // Proceedings Joint Standards Workshop on Data that Defines Business Processes, published at [www.NIST.gov](http://www.NIST.gov). – September 1998.
217. Milgrom P., Roberts J. Economics, Organization and Management. – Prentice Hall, 1992.
218. Olson R.L. Alternative images of a sustainable future // Futures. 1994. - V.26. - P.156-169.
219. Omrani D. Business process reengineering: a business revolution // Management Services. – 1992. – Oct.
220. Ougolnitsky G.A. Game theoretic modeling of the hierarchical control of sustainable development // Game Theory and Applications. - 2002. - Vol.8. - P.82-91.
221. Ougolnitsky G.A. A Generalized Model of Hierarchically Controlled Dynamical System // Contributions to game theory and management. Vol. II. Collected papers presented on the Second International Conference Game Theory and Management / Editors L.Petrosjan, N.Zenkevich. – SPb.: Graduate School of Management SPbU, 2009. – P.320-333.
222. Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Problems of the sustainable development of ecological-economic systems // Global Climatology and Ecodynamics: Anthropogenic Changes to Planet Earth / Eds.A.P.Cracknell, V.P.Krapivin, C.A.Varotsos. – Springer-Praxis, 2009. – P.427-444.
223. Ould M.A. Business Processes: Modeling and Analysis for

- Reengineering and Improvement. – Chichester, UK: Wiley, 1995.
224. Our Common Future. World Commission on Environment and Development (WCED). - Oxford, 1987.
225. Our Common Journey. A Transition toward Sustainability. – National Academy Press: Washington, D.C., 1999.
226. Pall G.A. Quality Press Management. – Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1987.
227. Paul R.J., Hlupic V., Giaglis G. Simulation modeling of business processes // UK Academy of Information Systems Conference, Lincoln, UK. – April 1998.
228. Peters L. and Peters J. Using IDEF0 for dynamic process analysis // In Proc. 1997 IEEE Int. Conf. Robot. Autom., Albuquerque, NM, 1997. – 1997. – P. 3203-3208.
229. Petrosyan, L.A., and Zenkevich, N.A. Game Theory. - World Scientific Publ.Co., Singapore, 1996.
230. Petrosyan, L.A., and Zenkevich, N.A. Time Consistency of Cooperative Solutions. In: Contributions to game theory and management. Petrosjan, L.A., Zenkevich, N.A. (Eds.). Collected papers presented on the International Conference Game Theory and Management. SPb.: Graduate School of Management SPbU, 2007, pp.413-440.
231. Pezzey J. Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development. The World Bank, 1989.
232. Phalp K. and Shepperd M. Quantitative analysis of static models of processes // System Software. – 2000. - Vol. 52. - P. 105-112.
233. Powell S.G., Schwaninger M. and Trimble C. Measurement and control of business processes // System Dynamics Rev. – 2001. – Vol. 17. – No. 1. – P. 63-91.
234. Quatrani T. Visual Modeling with Rational Rose 2000 and UML. - 2nd Edition. – N.Y.: Addison Wesley, 2001.
235. Raposo A.B., Magalhaes L.P. and Ricarte I. L. M. Petri nets based coordination mechanisms for multi-flow environments // Int. J. Comp. Syst. Sci. Eng. – 2000. – Vol. 15. – No. 5. – P. 315-326.
236. Rose-Ackerman S. The Economics of Corruption // J. of Political Econom. - 1975. - V. 4. - P. 187-203.
237. Roseland M. Toward Sustainable Communities. A Resource Book

- for Municipal and Local Governments. - NRTEE, 1992.
238. Salanie B. The Economics of Contracts. – MIT Press, 1997.
239. Saxena K.B.C. Reengineering public administration in developing countries // Long Range Planning. – 1996. – 26 (6). – P. 703-711.
240. Shimizu Y. and Sahara Y. A supporting system for evaluation and review of business process through activity-based approach // Comp. Chem. Eng. – 2000. – Vol. 24. – P. 997-1003.
241. Sloan A.P., Jr. My Years with General Motors. – N.Y., 1964.
242. Smith B. The Basic Tools of Formal Ontology / Formal Ontology in Information Systems. Ed. by N.Guarino. – IOS Press, 1998. – P.19-28.
243. Talwar R. Business reengineering – a strategy-driven approach // Long Range Planning. – 1993. - №26 (6). – P. 22-40.
244. The Enterprise Ontology. Mike Ushold, Martin King, Stuart Moralee and Yannis Zorgios. - <http://citeseer.ist.psu.edu/ushold95enterprise.html>.
245. The Local Agenda 21 Planning Guide. 1996.
246. Vasin A.A., Agapova O. Game Theoretic Model of the Tax Inspection Organization // International Year-Book of Game Theory and Applications. - 1993. - V. 1. - P. 83 - 94.
247. Vergidis K. et al. Business Process Analysis and Optimization: Beyond Reengineering // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 2008. - Part C. – Vol. 38. – No. 1.
248. Vick J.F., Harrell C.R. Introduction to ProcessModel and ProcessModel 9000 // Proc. 1998 Winter Simulation Conference. – 1998.
249. Weizsaeker E.U.von, Lovins A.B., Lovins L.H. Factor Four. Doubling Wealth – Halving Resource Use. A Report to the Club of Rome. - L., 1997.
250. White S. Business Process Modeling Notation (BPMN): specification. – 2004. – Version 1.0. – May 3.
251. Wohed P., Aalst W.M.P. van der, Dumas M. and Hofstede A.H.M. ter. Pattern-based analysis of BPEL4WS // Queensland Univ. Tech., Brisbane, Australia: QUT Tech. Rep. - FIT-TR-2002-04, 2002.
252. Wrong D.H. Power: Its Forms, Bases, and Uses. – Oxford, 1988.
253. Yan L., Yu-quiang F. An Automated Business Process Modeling

- 
- Method Based on Markov Transition Matrix in BPM // 2006 International Conference on Management Science and Engineering, 5-7 Oct. 2006. – 2006. – P. 46–51.
254. Zakarian A. Analysis of process models: A fuzzy logic approach // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2001. – Vol. 17. – P. 444-452.
255. [www.itstan.ru](http://www.itstan.ru) – информационные системы и технологии.

Монография

*Угольницкий Геннадий Анатольевич*

## **Устойчивое развитие организаций**

В авторской редакции

Подписано в печать 14.03.2011.

Формат 60x84/16 Усл.печ.л. 20

Бумага офсетная. Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Заказ 19/1 от 3.02.2011.

Издательство физико-математической литературы



Москва

Физматлит

2011

123182 Москва, ул. Щукинская, д.12, к.1;

ISBN 978-5-94052-205-8



9 785940 522058

Отпечатано в ООО «Экспертное бюро-Т»  
г. Ростов-на-Дону, ул. Ленина, 62 «б», тел.: (863) 297-35-97  
Заказ № 19/1 от 3.02.2011 г.