

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

**Ю.Л. МУРОМЦЕВ, Д.Ю. МУРОМЦЕВ,  
В.А. ПОГОНИН, В.Н. ШАМКИН**

**КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В ЗАДАЧАХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ,  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ  
И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Рекомендовано Научно-техническим советом ТГТУ  
в качестве монографии



Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2008

УДК 33.004  
ББК У39  
К652

Рецензенты:

Доктор экономических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Мировая и национальная экономика»  
Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина  
*Е.Ю. Меркулова*

Доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Распределённые вычислительные системы»  
Тамбовского государственного технического университета  
*С.М. Дзюба*

К652 Концептуальное моделирование в задачах экономической эффективности, конкурентоспособности и устойчивого развития : монография / Ю.Л. Муромцев, Д.Ю. Муромцев, В.А. Погонин, В.Н. Шамкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 176 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-0773-5.

Представлены основные сведения об устойчивом развитии, конкурентоспособности, экономической эффективности и информационных технологиях и системах. Рассмотрены постановки комплекса задач для решения проблемы устойчивого развития региональной социально-экономической системы. Показано, что для оперативного решения этих задач требуются формирование единого информационного пространства и использование концептуальных моделей. Приведены математический аппарат, применяемый для выработки управленческих решений в условиях неопределённости, и примеры решения отдельных задач.

Предназначена для студентов, аспирантов, магистрантов и специалистов, занимающихся проблемами экономической эффективности, конкурентоспособности и устойчивого развития региональных социально-экономических систем, корпораций, предприятий.

УДК 33.004  
ББК У39

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-07-97505.

ISBN 978-5-8265-0773-5

© Муромцев Ю.Л., Муромцев Д.Ю.,  
Погонин В.А., Шамкин В.Н., 2008  
© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2008

Научное издание

МУРОМЦЕВ Юрий Леонидович,  
МУРОМЦЕВ Дмитрий Юрьевич,  
ПОГОНИН Василий Александрович,  
ШАМКИН Валерий Николаевич

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В ЗАДАЧАХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ,  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ  
И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Монография

Редактор Т.М. Г л и н к и н а

Инженер по компьютерному макетированию Т.А. С ы н к о в а

Подписано в печать 8.12.2008.

Формат 60 × 84/16. 10,23 усл. печ. л.

Тираж 400 экз. Заказ № 555

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

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность развития национальной экономики страны и её регионов в значительной степени определяется потенциалом региональных социально-экономических систем, их конкурентоспособностью и устойчивостью развития в условиях влияния факторов внешней среды на основе современных концепций управления бизнесом и применения математических методов, реализуемых на новых информационных технологиях. Региональные социально-экономические системы представляют собой сложные динамические системы с потоковыми процессами, они характеризуются многочисленностью изменяемых параметров и переменных. Функционируя в условиях рыночных отношений, эти системы находятся под влиянием различных внешних и внутренних факторов, влияющих на их эффективность. Факторы среды оказывают значительное воздействие на бизнес-процессы в социально-экономических системах, что надо учитывать на различных уровнях формирования управленческих решений.

Тенденция развития регионов и предприятий, особенно поставляющих на внутренние и внешние рынки инновационную продукцию, показывает, что начинается переход от «бережливого» производства к так называемому «активному», которое обладает способностью успешно функционировать в плохо предсказуемых, быстро изменяющихся условиях с элементами неопределённости.

Важнейшими предпосылками успешного принятия управленческих решений являются получение достоверной информации, её быстрый анализ и выразительное представление результатов. Это особенно актуально, когда объектом управления является регион, рассматриваемый как сложная система, в которой множество процессов (социальных, экономических, технологических, экологических, политических) протекают, существенно влияя друг на друга. Одним из основных инструментов исследования процессов, протекающих в сложных системах, является концептуальное моделирование, на основе которого конкретизируются цели и задачи устойчивого развития региона.

Эксперты Всемирного банка определили устойчивое развитие как процесс управления совокупностью активов (ресурсов), включающих не только физический (производственный, банковский и др.) капитал, но также человеческий и природный капитал. Устойчивое развитие должно обеспечить рост или, по крайней мере, неумножение во времени всех этих активов.

Эффективная и качественная работа с информацией – основным нематериальным капиталом региональной социально-экономической системы – с каждым годом всё сильнее зависит от умения оперативно найти, проанализировать и полноценно обработать любой её объём, особенно, если регион находится под влиянием внешнего конкурентного окружения.

Интенсивное развитие информационных технологий и систем позволяет автоматизировать процессы принятия управленческих решений на основе использования хранилища данных регионального единого информационного пространства, в которое «стекаются» данные из действующих информационных систем, например муниципальных образований, предприятий, налоговых органов, организаций статистики и др.

В настоящее время два основных фактора определяют развитие стран мирового сообщества – достаточность запасов сырьевых (энергетических) ресурсов и уровень разработок высокотехнологичной продукции (информационные технологии, нанотехнологии и др.). Наличие и эффективное использование хотя бы одного из этих факторов являются необходимым условием успешного развития страны и регионов в краткосрочном и среднесрочном плане (5 – 10 лет), однако недостаточным на далекую перспективу. С определённой степенью приближения это положение можно перенести на крупномасштабные региональные проекты и отдельные предприятия. Для обеспечения конкурентоспособности предприятие должно обладать достаточными ресурсами (интеллектуальными, производственными и т.п.), а также непрерывно совершенствовать используемые информационные технологии (ИТ).

В первой главе монографии кратко рассматриваются основные понятия и аспекты, связанные с проблемами устойчивого развития региона. Приводятся наиболее часто используемые определения устойчивого развития информационной технологии, конкурентоспособности, единого информационного пространства и др.

Вторая глава посвящена постановкам задач, решение которых необходимо для управления устойчивым развитием социально-экономических систем. Достаточно подробно излагаются аспекты использования концептуального моделирования и конкурентного анализа.

В третьей главе приводится математический аппарат, применяемый для выработки управленческих решений в условиях неопределённости, рассматриваются методы динамической альтернативности, Шортлифа-Бьюкенена и Демпстра-Шафера.

Примеры решения отдельных задач с использованием этих методов приводятся в четвертой главе.

Авторы признательны Минину Ю.В. за предоставленные материалы, использованные при написании разделов 3.7 и 4.5.

Монография будет полезна студентам, магистрантам, аспирантам и специалистам, занимающимся проблемами устойчивого развития, конкурентоспособности и экономической эффективности.

Учитывая новизну и актуальность затрагиваемых в монографии задач, авторы будут благодарны всем за сделанные замечания и пожелания.

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В условиях рыночных отношений и обострения конкурентной борьбы как на внешнем (мировом), так и на внутреннем (страна, федеральный округ) рынках решение задач, связанных с устойчивым развитием (УР) социально-экономической системы (СЭС) региона, приобретает жизненно-важное значение.

## 1.1. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Идея устойчивого развития впервые высказана русским учёным В.И. Вернадским, который ввёл понятие «ноосферное развитие». В этой гуманной идее заложена уникальная возможность развивать технический прогресс при одновременном сохранении благоприятной окружающей среды и природного ресурсного потенциала. Реализация этой идеи позволяет сбалансированно решать социально-экономические задачи нынешнего и будущего поколений.

Внимание к проблеме устойчивого развития социально-экономических систем возросло после кризисных явлений, имевших место во многих странах во второй половине XX века. Эти явления были обусловлены непродуманными действиями человека, повлекшими «истощение и разрушение природной среды обитания, подрыв механизмов саморегулирования экологических систем», и рядом социально-экономических причин.

Указом Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440 была утверждена «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Государственная Дума создала Комиссию по проблемам устойчивого развития и разработала некоторые рекомендации «О формировании стратегии устойчивого развития России».

В докладе Г.Х. Брунтланд, представляющем результаты работы Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию, говорится: «Устойчивое развитие – это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Оно содержит два ключевых понятия:

- 1) понятие потребностей, в частности потребностей, необходимых для существования беднейших слоев населения, которые должны быть предметом первостепенного приоритета;
- 2) понятие ограничений, обусловленных состоянием технологии и организации общества, накладываемых на способность окружающей среды удовлетворять нынешние и будущие потребности» [74].

На основе множества национальных и международных инициатив, направленных на разработку и использование различных показателей, Комиссия по УР ООН в 1995 г. приняла Программу работы по показателям УР. Программа включает в себя предварительный набор более 100 показателей.

Под «устойчивым развитием» также понимается определенный тип прогрессивно направленных, внутренне детерминированных изменений объекта, исследований, связанных с повышением уровня его организации [89].

Применительно к системе природа – общество – человек под устойчивым развитием понимается «развитие, которое согласовано с законами глобальной эволюции живой природы и законами исторического развития человечества» [39].

В дальнейшем, если не оговорено особо, под исследуемым объектом будем понимать региональную социально-экономическую систему (регион), а в качестве решаемой проблемы – её устойчивое развитие в условиях рыночных отношений. При этом основу экономической подсистемы региона составляют предприятия (промышленные, сельскохозяйственные, коммерческие и др.).

Устойчивое развитие региона (УРР) должно при возможных воздействиях внешнего окружения предоставлять всем его жителям достойные социальные, экономические и экологические услуги, не угрожая при этом среде обитания для последующих поколений.

Другими словами, концепция УРР предполагает стабильное социально-экономическое развитие региона, не разрушающее окружающую среду и обеспечивающее непрерывный прогресс. Процесс УРР количественно характеризуют следующими группами показателей [23]:

- 1) социально-медицинские (средняя продолжительность жизни, бюджет семьи, уровень знаний);
- 2) экономические (прирост реального ВВП на душу населения, индекс промышленной нагрузки и т.д.);
- 3) экологические (индекс воздействия на окружающую среду региона, индекс устойчивости экосистем региона и др.);
- 4) ресурсные (сырьевые, энергетические, людские и т.д.).

Заметим, что наряду с термином «устойчивое развитие» используется также и термин «устойчивый рост», причем эти термины не следует отождествлять.

Устойчивый рост (sustainable growth) региона или предприятий достигается за счёт способности учитывать изменения на рынке и проводить необходимые инновации, основанные на знаниях [1]. Инновации означают их способность полностью или частично отказываться от существующей организационной структуры и создать новую структуру, если это приводит к значительным улучшениям характеристик процессов, продукции и бизнес-процессов. При этом под инновационными понимаются не только «технологические новшества», а новые ключевые процессы в организации структуры. Инновации отличаются от «постоянного улучшения» тем, что последнее обычно осуществляется в рамках существующей структуры.

Опыт развитых стран показывает, что обеспечение УР региона или предприятий и повышение их конкурентоспособности достигается следующими мероприятиями:

- инвестированием средств в научно-технические исследования и конструкторские разработки, а также в персонал и оборудование с целью улучшения производственных возможностей;
- уничтожением коммуникационных барьеров в пределах региона или предприятий и признанием общности своих интересов с интересами партнёров;
- воспитанием и обучением персонала, который является ценным ресурсом;

- повышением качества конструкторских разработок и модернизацией производственных процессов;
- своевременным пересмотром корпоративных стратегий в зависимости от изменения конкурентной ситуации на внутреннем или внешнем рынке;
- использованием инноваций в сфере информационных технологий и систем, применением современных математических методов, в частности концептуального моделирования, принятием обоснованных управленческих решений в условиях неопределённости и др.

Большое значение для проведения инноваций и обеспечения устойчивого роста региона имеют приобретение и управление знаниями.

Выделяют личные и организационные знания. Личное знание – это знание, приобретенное каждым отдельным сотрудником при обучении, повышении квалификации и т.д. На основе накопления личных знаний, анализа информации, полученной, например от потребителей, партнёров и работодателей, формируются организационные знания.

Устойчивое развитие региона во многом определяется способностью сотрудников предприятий и организаций творчески решать проблемы, связанные с безопасностью и устойчивым развитием.

Важную роль в оценке устойчивости развития региона играют пороговые (предельные) значения показателей, несоблюдение которых приводит к формированию негативных (разрушительных) тенденций в развитии социально-экономических систем. Показатели, по которым определены пороговые значения, образуют систему показателей устойчивости развития. Полная (абсолютная) устойчивость достигается, если весь комплекс показателей находится в пределах допустимых границ пороговых значений и пороговые значения одного показателя достигаются не в ущерб другим.

Во многих случаях используют систему показателей (индикаторов), представленных в табл. 1.1 [75].

**Таблица 1.1**

Показатели по укрупненным группам	Пороговые значения	Возможные последствия
<i>Экономические отношения</i>		
1. Уровень падения ВВП (ВРП) по отношению к базовому уровню, %	30 – 40	Потеря безопасности и устойчивости развития
2. Уровень падения промышленного производства, %	30 – 40	Деиндустриализация (страны)
3. Уровень продовольственной зависимости (доля потребляемых импортных продуктов питания), %	30 – 35	Стратегическая зависимость жизнедеятельности (страны) от импорта
4. Ассигнования на науку, % к ВВП	2	Разрушение научно-технического потенциала
<i>Социальная сфера</i>		
1. Децильный коэффициент (отношение доходов 10 % наиболее богатых к доходам 10 % наиболее бедных)	10 : 1	Антагонизация социальной сферы
2. Доля населения, живущего за чертой бедности, %	10	Люмпенизация населения
<i>Демографическая ситуация</i>		
Коэффициент депопуляции, учитывающий отношение числа умерших к числу родившихся, %	1	Интенсивная депопуляция: смертность превышает рождаемость
<i>Экологическая ситуация</i>		
1. Суммарные поступления для экологической безопасности, % к ВВП	5 (Германия)	Угроза экологической катастрофы
2. Экологические потери, % к ВВП	5	Возникновение жизненноопасной окружающей среды
3. Природоохранные затраты на экологию, % к ВВП	5	Деградация экологии
<i>Девiantное поведение</i>		
Уровень преступности (количество преступлений на 100 тысяч населения)	5 – 6 тыс.	Криминализация общественных отношений

С позиций общей теории управления и системного анализа понятие «устойчивость» рассматривается применительно к динамическим системам, изменения состояний которых описываются дифференциальными уравнениями [8, 75]: устойчивое развитие системы – это сложное динамическое свойство класса управляемости, сочетающее в себе требования:

- 1) попадания траектории развития за определённое время в целевое множество состояний;
- 2) невозможности выхода траектории развития на прогнозном интервале времени из некоторого множества «безопасных» состояний;
- 3) квазимонотонного возрастания некоторых показателей развития (например, уровня жизни и др.) на определённом интервале времени с последующим сохранением их в заданных интервалах допустимых значений;
- 4) асимптотической устойчивости (стабилизируемости) программной траектории развития;
- 5) гармонизации интересов сторон.

Проблемы устойчивости рассматриваются в тесной связи с вопросами безопасности. При устойчивом развитии весь комплекс показателей должен находиться в допустимых пределах, определяемых пороговыми значениями.

## 1.2. КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ

Термин «конкурентоспособность» широко применяется при решении задач устойчивого развития. Однако до настоящего времени нет общепринятого определения для конкурентоспособности. Это понятие широко используется не только применительно к товару и фирме, но и к стратегии, отрасли, региону, стране. В условиях обострения конкурентной борьбы между странами, регионами и предприятиями по всем видам продукции и услуг устойчивое развитие часто рассматривается как обеспечение конкурентоспособности соответствующей системы и сохранение её на длительную перспективу.

Конкурентоспособный регион – это такой регион, в котором производятся конкурентоспособные товары и услуги при свободных и справедливых рыночных условиях, поддерживаются и увеличиваются доходы населения. Уровень конкурентоспособности региональной экономики в значительной степени определяется конкурентоспособностью продукции на внешнем для региона рынке, в том числе экспортируемой продукции в другие страны, и конкурентоспособностью продукции на внутреннем рынке (импортозамещением). Важным показателем конкурентоспособности региона является наличие товаров или услуг с достаточным удельным весом на мировом рынке.

Конкурентоспособность региона в основном определяют следующие факторы:

- рентабельность производства;
- уровень производительности труда;
- характер инновационной деятельности;
- эффективность стратегического планирования и управления;
- способность к адаптации;
- новизна, наукоёмкость и интеллектоёмкость производимых товаров и услуг.

При оценке конкурентоспособности крупных корпораций важным критерием является удельный вес её на мировом рынке определённого товара (услуг).

Отраслевая конкурентоспособность определяет конкурентоспособность той или иной отрасли. Например, новые индустриальные страны Азии (Южная Корея, Сингапур, Таиланд, Малайзия, и т.д.) создали конкурентоспособные отрасли по производству товаров массового спроса (одежда, обувь, бытовая электроника и др.), а также наукоёмких изделий (персональные компьютеры, компоненты вычислительной техники и т.п.). Это позволяет им успешно конкурировать с Японией и Западной Европой. В конкурентную борьбу с ними интенсивно вступает Китай. Основными факторами для конкурентоспособности в развивающихся странах является качество, новизна, наукоёмкость и интеллектоёмкость.

Конкурентоспособность предприятия рассматривается как относительная оценка преимущества предприятия, его продуктов и услуг, которая позволяет с большей эффективностью удовлетворять потребности потребителей [99, 4].

Под конкурентоспособностью товара (product competitive) обычно понимают обобщённую его характеристику, которая позволяет выявлять преимущества совокупности свойств технического уровня и качества продукта перед аналогичными продуктами конкурентов [4]. Другими словами, конкурентоспособность товара – это степень его потребительской привлекательности по сравнению с товаром-аналогом на конкретном сегменте потребительского рынка. Привлекательность означает притягательность, способность располагать к себе, побудить, обратить внимание на себя, вызвать положительное отношение для совершающего реальную покупку потребителя.

За последние годы в конкуренции произошли существенные изменения. Если раньше предприятие добивалось успеха, производя приемлемые по качеству товары и предлагая их на рынке по наименьшей цене, то в настоящее время этого недостаточно. В современных условиях конкуренция значительно усилилась и приобрела многообразный характер. Так как рынок распался на части, которые имеют свои особенности, то возникла необходимость учитывать особенности разных рынков в конкурентной борьбе. Например, на одних рынках использовать низкие цены, на других – высокое качество и послепродажное обслуживание.

Природа и характер изменений на рынке (у клиентов) и в конкуренции стали другими. Коренное отличие этих изменений от прежних состоит в том, что они стали постоянными и «всепроникающими». Для обеспечения конкурентоспособности региону, отрасли или предприятию необходимо непрерывно отслеживать происходящие изменения и оперативно адаптироваться к ним, решать задачи клиентоориентированности.

Под клиентоориентированностью понимают стратегию бизнеса, позволяющую за счёт внедрения в работу принципов главенствования потребностей клиента получать дополнительную прибыль или конкурентные преимущества. Для решения проблем клиентоориентированности используются такие инструменты, как внимательность в общении, оперативность реагирования, обязательность выполнения обещаний, учёт потребностей клиента, необходимость помнить о его выгодах, создавать положительные эмоции, обеспечивать удовлетворение от приобретения, подкреплять уверенность в правильном выборе и т.п.

Одним из наиболее важных инструментов решения проблемы клиентоориентированности является персоналоориентированность. Персоналоориентированность – это выполнение персоналом организации всех принципов клиентоориентированности:

- внимательность, т.е. для ключевого сотрудника организации должна быть создана атмосфера, что он выполняет исключительно важную работу и его ценят; недопустимы ссылки на занятость из-за большого количества других сотрудников, дел, задач и т.п.;

- оперативность, т.е. нежелательно демонстрировать сотрудникам, что у вас нет ответа на поставленные вопросы и нет оперативного решения по их запросу, если только поступившие вопросы/запросы не являются чем-то исключительным и неординарным, и даже в последнем случае должен быть оперативный ответ – с назначением конкретных сроков ответа на запрос;

- обязательность, т.е. обещания, данные сотруднику, должны быть выполнены в срок, если это не получается, то необходимо объяснить причину задержки, принести извинения и назначить новый срок.

Ряд предприятий достигают повышения конкурентоспособности, используя следующий подход. В течение длительного времени проводятся исследования достижений конкурентов в разработке новых видов продукции, производственных операций, управления поставками. Затем определяются «функциональные эквиваленты», с помощью которых производится постепенное совершенствование лучших достижений конкурентов. Основное внимание при этом уделяется ускорению вывода новой продукции на рынки сбыта, повышению качества конструкторских разработок, повышению отдачи производственных мощностей (за счёт сокращения стоимости технологических операций, затрат рабочего времени, расхода инструментов при одновременном повышении качества и гибкости производственного процесса). Немаловажное значение имеют адаптация новых методов взаимосвязи «потребитель – поставщик» и усовершенствование методов руководства, например с помощью создания независимых советов директоров, которые имеют право увольнять менеджеров, неэффективно выполняющих свои обязанности.

Чем определяется и от чего зависит конкурентоспособность товара? Современная теория конкурентоспособности [82] выделяет два типа конкурентных преимуществ:

- 1) более низкие издержки;
- 2) специализация.

Под более низкими издержками понимается не просто меньшая сумма затрат на производство (чем у конкурентов), а способность разработать, производить и сбывать товар более эффективно, чем конкуренты. Надо организовать с меньшими затратами и в более короткие сроки этапы жизненного цикла продукта от конструкторской разработки до продажи покупателю. Хорошая новинка может быть загублена производством и продажей.

Специализация в данном случае – это не сосредоточение на выпуске только определённого круга товаров, а способность удовлетворять особые потребности покупателей и получать за это премиальную цену, т.е. в среднем более высокую, чем у конкурентов. Надо научиться выделяться в толпе конкурентов, предлагая товар, отличающийся либо высоким качеством при стандартном наборе параметров, либо нестандартным набором свойств, реально интересующих покупателя.

Для обеспечения конкурентоспособности в регионе должны использоваться конкурентоспособные стратегии и планирование.

Стратегия представляет собой общий, всесторонний план достижения цели, а стратегическое планирование – набор действий и решений, принятых руководством, которые ведут к разработке конкретных стратегий, предназначенных для помощи организации в достижении своих целей.

В настоящее время широко используются три основных типа конкурентоспособных стратегий [4, 82]:

- 1) стратегия низких издержек;
- 2) стратегия дифференциации;
- 3) стратегия узкой специализации.

Стратегия низких издержек представляет собой направление политики фирмы, которая связывает достижение конкурентных преимуществ с обеспечением более дешёвого производства и сбыта продукции, что обеспечивает ценовое преимущество над конкурентами. Основными путями достижения преимуществ при использовании данной стратегии являются:

- отказ от дорогостоящих сопутствующих услуг;
- создание более дешёвых моделей продукции;
- использование дешёвых источников сырья;
- совершенствование технологии производства;
- использование «опытной кривой», которая отражает связь между опытом, накопленным в производстве того или иного вида продукции (услуги), и издержками по его производству.

Стратегия дифференциации заключается в политике выделения фирмой своих продуктов (услуг) в качестве особых, отличных от конкурирующих продуктов, и тем самым в обеспечении автономного спроса на рынке. Для этого используются следующие факторы:

- повышение качества и специфических потребительских свойств;
- надёжность при эксплуатации;
- техническое лидерство (патентование);
- сопутствующие услуги при сбыте.

Стратегия узкой специализации – это лучшее, чем у конкурентов обслуживание сегмента на рынке, а также дифференциация, т.е. разнообразие предлагаемого продукта, что достигается низкими издержками или предложениями более разнообразного товара. Для реализации стратегии используются:

- выбор рыночной ниши, где у покупателей есть особые требования или предпочтения;
- развитие уникальной способности обслуживать потребности целевого покупательского сегмента.

В стратегиях дифференциации и узкой специализации учитываются следующие обстоятельства:

- общий рынок разбивается на сегменты по группам продукции;
- определяются требования к продукции, структура спроса для каждой группы;
- определяются критерии «победителей заказа» каждой группы, т.е. критерии, выделяющие продукцию одной фирмы среди продукции других компаний (например, стоимость, качество и т.п.);
- определяются критерии «квалификаторов заказа» в каждой группе, т.е. критерии, с помощью которых определяется значимость каждого вида продукции как возможного кандидата для продаж (например, соответствие качества продукции требованиям, своевременное выполнение заказов и др.);
- критерии «победителей заказа» преобразуются в конкретные требования к характеристикам бизнес-процессов.

Бизнес-процесс – это совокупность различных видов деятельности, в рамках которых на входе используется один или более видов ресурсов, и в результате этой деятельности на выходе создаётся продукт, представляющий ценность для потребителя. Различают основные и обеспечивающие бизнес-процессы. Основные непосредственно связаны с процессом создания стоимости товара (закупка сырья и т.д.). К обеспечивающим относятся те, которые не увеличивают ценность продукта для потребителя, но они необходимы для функционирования (финансовый учёт, управление кадрами и т.д.).

### 1.3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Для принятия обоснованных решений в задачах, связанных с устойчивым развитием, используются различные показатели (критерии) эффективности и конкурентоспособности. Следует различать показатели эффективности общие (комплексные) и частные.

Наиболее общим для предприятия, региона критерием эффективности использования своих ресурсов является производительность. Общий показатель производительности  $\Pi$  обычно рассчитывается по формуле

$$\Pi = \frac{\text{ПТ}}{\text{ИР}},$$

где ПТ – производимые товары или услуги (выход); ИР – все используемые ресурсы (вход). Выход может включать всю готовую продукцию, незавершённое производство, облигации, дивиденды и прочие доходы, а вход – затраты труда, материалов, энергии, капитала и другие.

Производительность представляет собой относительный показатель, который должен сравниваться с каким-либо другим. Для сравнения могут использоваться, например, показатели аналогичных предприятий отрасли или показатели своего предприятия за предыдущие годы. В свете современных представлений «производительность – это всё, что приближает компанию к её основной цели» [99], а именно созданию конкурентоспособной продукции и устойчивому развитию.

Частные показатели эффективности характеризуют соотношения вывода к каким-либо отдельным составляющим входа, например к затратам энергии, материалов и т.д. Во многих случаях производительность оценивают выходом продукции за единицу рабочего времени и другими показателями.

При решении задач замены производственного оборудования, проектирования продукции и других могут использоваться показатели экономической эффективности, отражающие фактор надёжности нового оборудования или продукции. Эти показатели учитывают ущерб от простоев, связанных с отказами, затраты на ремонт и т.п. Например, эффект  $\mathcal{E}$  от эксплуатации более надёжного оборудования можно подсчитать по формуле

$$\mathcal{E} = N_0(C_n^0 + C_p^0) - N_1(C_n^1 + C_p^1), \quad (1.1)$$

где  $N_0$ ,  $C_n^0$ ,  $C_p^0$  – среднее число отказов, потери от одного отказа и затраты на ремонт при использовании старого оборудования;  $N_1$ ,  $C_n^1$ ,  $C_p^1$  – значения соответствующих показателей для нового оборудования.

Для характеристики процесса развития предприятия используют финансовые и операционные критерии эффективности. К финансовым критериям относятся [99]:

- чистая прибыль в денежном выражении;
- прибыль на инвестированный капитал, характеризующая эффективность инвестиций (обычно в процентах);
- поток денежных средств, необходимых для оплаты текущих счетов.

В качестве операционных критериев выступают:

- денежные средства, полученные предприятием после продаж продукции (выручка);
- товарно-материальные запасы в виде денежных средств, инвестированные предприятием в закупки для обеспечения последующих продаж;
- операционные расходы, т.е. денежные средства, затрачиваемые предприятием на преобразование товарно-материальных запасов в новые денежные поступления.

Основным критерием оценки значений показателей качества, определяющих конкурентоспособность продукции, является её технический уровень в сравнении с требованиями международных стандартов ИСО, МЭК и других организаций, законодательных органов стран-импортеров, а также специфическими требованиями иностранного потребителя. Уровень качества изготовления экспортной продукции характеризуется её способностью сохранять эксплуатационные свойства в процессе использования, а также затратами на их поддержание.

Оценка конкурентоспособности товара производится с использованием единичных, групповых и интегральных показателей конкурентоспособности продукции (ПКП).

Единичный ПКП  $q_i$  отражает процентное отношение уровня  $i$ -го технического или экономического параметра продукции к величине того же параметра образцового продукта – конкурента, удовлетворяющего потребителей на 100 %.

Групповой ПКП объединяет единичные показатели  $q_i$  по однородным группам параметров – технических ( $G_T$ ) и экономических ( $G_3$ ). При определении  $G_T$  и  $G_3$  используются весовые коэффициенты, получаемые методом экспертных оценок.

В качестве интегральных ПКП обычно рассматриваются отношения групповых показателей продукта к показателям образцового

продукта. Например, рассматривается отношение  $G_T$  к  $G_{T.0}$ , (здесь  $G_{T.0}$  – групповой показатель технических параметров образца). Если  $G_T / G_{T.0} < 1$ , то анализируемое изделие уступает образцу, если  $G_T / G_{T.0} > 1$ , то превосходит.

В общем случае оценка конкурентоспособности основана на сравнении показателей полезности и затрат при эксплуатации нового образца с соответствующими показателями других образцов. При определении уровня конкурентоспособности продукции используют стоимостный и параметрический методы.

При наличии полной информации о затратах уровень конкурентоспособности определяется стоимостным методом, т.е. отношением нового и базового значений интегрального показателя качества сравниваемых образцов по формуле:

$$I = \frac{\Pi_n}{\Pi_6} \frac{3_6}{3_n}, \quad (1.2)$$

где  $\Pi_n$  и  $\Pi_6$  – суммарный полезный результат эксплуатации соответственно нового и базового образцов за срок их службы;  $3_6 / 3_n$  – отношение полных затрат на приобретение и эксплуатацию соответственно базового и нового образцов, определяемое по формуле:

$$\frac{3_6}{3_n} = \frac{3_{c.6} + 3_{э.6} T_6}{3_{c.n} + 3_{э.n} T_n}, \quad (1.3)$$

здесь  $3_{c.n}$  и  $3_{c.6}$  – единовременные затраты (стоимость) на приобретение соответственно нового и базового образцов;  $3_{э.n}$  и  $3_{э.6}$  – средние суммарные затраты на эксплуатацию соответственно нового и базового образцов;  $T_6$  и  $T_n$  – сроки службы базового и нового образцов.

Если методы приведения эксплуатационных затрат отечественных и зарубежных образцов известны, то они могут учитываться при расчёте по формуле (1.2). При недостаточности информации об эксплуатационных затратах (иностранного варианта) рекомендуется применять параметрический метод определения индекса относительного интегрального показателя, пользуясь формулой:

$$I = \frac{\Pi_n / \Pi_6}{c\alpha_0 + \tau(r_i\alpha_i + \dots + r_n\alpha_n)}, \quad (1.4)$$

где  $c = \frac{3_{c.6}}{3_{c.n}}$  – отношение единовременных затрат потребителя на приобретение нового и базового образцов;  $\alpha_0$  – доля

затрат на приобретение базового образца в составе полных затрат;  $\tau = T_6 / T_n$  – отношение сроков службы базового и нового образцов;  $r_i = R_{in} / R_{i6}$  – относительное значение  $i$ -го показателя затрат;  $R_{in}$ ,  $R_{i6}$  – значения  $i$ -го показателя затрат соответственно нового и базового образцов в натуральных единицах, характеризующего соответствующую составляющую полных затрат;  $\alpha_i$  – доли  $i$ -го показателя затрат базового образца (выраженные в стоимостных единицах) в составе полных затрат.

При  $I \geq 1$  продукция конкурентоспособна на конкретном рынке, при  $I < 1$  – неконкурентоспособна на данном рынке.

Если известны не все расчётные значения единичных показателей, составляющих интегральный показатель, допускается определять их индексы экспертным методом. В результате оценки конкурентоспособности рассмотренного образца формируется одно из заключений: образец обладает достаточно высокой конкурентоспособностью, образец обладает недостаточной конкурентоспособностью или образец не обладает конкурентоспособностью (образец неконкурентоспособен). К указанным оценкам могут быть даны различные дополнения и уточнения. Например, данный образец обладает достаточно высокой конкурентоспособностью и может экспортироваться в развитые страны, образец не обладает достаточно конкурентоспособностью и не может поставляться на экспорт.

Конкурентоспособность предприятия зависит от многих факторов – коммерческих, сбыта, технического обслуживания и др. Для сравнения двух предприятий в этом смысле применяется многоугольник конкурентоспособности, качественная картина которого представлена на рис. 1.1.

В качестве показателей эффективности предприятий обычно используются фондоотдача ФО, фондоёмкость ФЕ, фондовооружённость ФВ, производительность труда ПТ, эластичность Э и др. Расчёт перечисленных показателей производится по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{ФО} &= V_r / \bar{C}_{\text{оф}}; & \text{ФЕ} &= \bar{C}_{\text{оф}} / V_r; & \text{ФО} &= V_r / C_{\text{ог}}; \\ \text{ФВ} &= \bar{C}_{\text{сс}} / \bar{C}_{\text{оф}}; & \text{ЭТ} &= \Delta \text{ПТ} / \Delta \text{ФВ}, \end{aligned}$$



**Рис. 1.1. Многоугольник конкурентоспособности**

где  $V_T$  – годовой объём работ, выполненных предприятием (в денежном или натуральном выражении);  $\bar{C}_{\text{оф}}$  – среднегодовая стоимость основных фондов с учётом их движения;  $\bar{Ч}_{\text{сс}}$  – среднесписочная численность работников, усреднённая за год;  $\Delta ПТ$ ,  $\Delta ФВ$  – соответственно приращенные производительность труда и фондовооружённость.

Большое значение для устойчивого развития предприятия имеет эффективность управления изменениями для достижения намеченных целей. Основным критерием экономической эффективности управления изменениями на предприятии является прибыльность [4], определяемая в основном индивидуальной и групповой производительностью труда, объёмом выпуска продукции и её качеством.

Социально-экономическими критериями эффективности управления изменениями в регионе являются стабильность (производства, положения на рынке и т.д.), рост (производства, инноваций, процента занятости населения), способность приспосабливаться к изменениям внешней среды, прогнозировать изменения и планировать деятельность в долгосрочном масштабе.

Таким образом, эффективность управления изменениями рассматривается как способность поддержания эффективного производства и адаптация к изменениям. При адаптации к изменениям выделяют:

- социальную адаптацию, т.е. способность учитывать изменения внутренней и внешней социальной сферы и приспосабливаться к этим изменениям;
- научно-техническую адаптацию, т.е. учёт и использование инновационных технологий для производства наукоемкой продукции, решения задач управления и подготовки кадров;
- административную адаптацию, т.е. соответствие современным формам, методам и стилям управления, распределением обязанностей и полномочий между разными уровнями руководства.

#### 1.4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Одним из важнейших показателей научно-технической мощи высокоразвитых стран становится внешнеторговый баланс профессиональных знаний, который реализуется рынком лицензий производственных процессов, «ноу-хау» и консультациями по применению наукоемкой продукции. Например, США около 80 % нововведений передают дочерним предприятиям в других странах. Пока эти предприятия осваивают предложенную технологию, в США готовят новые, т.е. реализуется опережающий технологический цикл. К числу важнейших компонентов информационной мощи США относится глобальное лидерство в разработке, производстве и использовании информационных технологий (ИТ).

Таким образом, эволюция мирового рынка даёт преимущества странам и отдельным регионам, которые создают у себя и передают для производства другим странам наукоемкую продукцию, включающую новые технологии и современные профессиональные знания. Идёт торговля невидимым продуктом: знаниями, культурой, происходит навязывание высокоразвитыми странами стереотипа поведения. Именно поэтому в информационном обществе стратегическим ресурсом становятся информация, знание, творчество. Так как таланты не создаются, то нужно формировать условия и среду, в которых они развиваются и процветают. Компьютерные технологии оказывают здесь огромное влияние посредством дистанционного обучения, компьютерных игр, компьютерных видеофильмов и других информационных технологий. Предполагается, что социальное влияние информационной революции будет заключаться в синтезе западной и восточной мысли.

Развитие ИТ привело к появлению новых видов деятельности – консалтинг, аутсорсинг, системная интеграция, дистрибуция, электронный бизнес, дистанционное обучение и защита информации. Ежегодно терминология в области ИТ пополняется новыми понятиями, аббревиатурами и специальными терминами, ниже приводятся лишь определения самого общего характера.

Термин «технология» произошел от греческого *teche* + *logos*, т.е. мастерство + учение. В производственном процессе под технологией понимают систему взаимосвязанных способов обработки материалов и приёмов изготовления продукции.

В общем случае технология – это правила действия с использованием каких-либо средств, которые являются общими для целой совокупности задач или задачных ситуаций. Если реализация технологии направлена на выработку управляющих воздействий, то это технология управления.

В узком смысле технология – это набор способов, средств выбора и осуществления управляющего процесса из множества возможных реализаций этого процесса. Под процессом (от лат. processus – продвижение) здесь понимается функционально законченная, планируемая последовательность типовых операций со структурами данных, совершаемых за конечный промежуток времени в определённой среде, свойства которой диктуются требованиями и свойствами динамики процесса [14]. В свою очередь процесс может быть применен и к информации с целью её преобразования.

В последнее время широкое распространение получили термины: безбумажная технология, интерактивная технология, технология программирования, технология проектирования баз данных (БД), CALS-технология, сетевая технология, Internet-технология, технология анализа и реинжиниринга бизнес-процессов, технология быстрого программирования и др. Все они предполагают использование информации, т.е. любого вида сведений о предметах, фактах, понятиях предметной области [78].

Современная технология должна отвечать следующим требованиям [63]:

- высокая степень расчленённости процесса на стадии (фазы);
- системная полнота (целостность) процесса, который включает все элементы, обеспечивающие необходимую завершённость действий в достижении поставленной цели;
- регулярность процесса и однозначность его фаз, позволяющие применять средние величины при характеристике этих фаз, следовательно, их стандартизацию и унификацию.

В понятии «технология» важно выделить два аспекта. Во-первых, технология, как это уже отмечалось, неразрывно связана с процессом, т.е. совокупностью действий, осуществляемых во времени. Во-вторых, технологический процесс протекает в искусственных системах, созданных человеком для удовлетворения каких-либо потребностей.

Термин «информатизация» может рассматриваться как эффективное использование обществом информации и средств вычислительной техники во всех сферах деятельности, как комплекс мер, направленных на обеспечение полного и своевременного использования достоверных знаний во всех общественно значимых видах человеческой деятельности. Основная цель информатизации – обеспечение решения актуальных проблем общества, удовлетворение спроса на информационные продукты и услуги [79]. Важность информатизации подчеркивается её местом в «концепции четырех И» (информатизация, интеллектуализация, интеграция и индивидуализация) [29]. Под интеллектуализацией понимается создание и использование систем, решающих интеллектуальные задачи (накопление знаний и вывод новых, распознавание образов, общение с пользователем на естественном языке и т.д.). Интеграция предполагает комплексное решение научных, технических и социальных задач в целях развития общества. Индивидуализация проявляется в развитии сегмента функциональных и личностных услуг во всех сферах человеческой деятельности.

Термин «информационные технологии», получивший широкое распространение, имеет чрезвычайно ёмкий смысл. Часто как синоним ему используются такие словосочетания, как компьютерные технологии, автоматизированные информационные технологии и др. Общепринятого определения для термина «информационная технология» в настоящее время нет, а наиболее часто используются следующие.

Информационная технология или технология обработки информации есть совокупность методов, процессов и программно-технических средств, объединённых в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации для снижения трудоёмкости, повышения оперативности и надёжности при использовании информационных ресурсов [79].

Информационная технология связана с методами, системами и средствами, используемыми для хранения, обработки, восприятия и передачи информации во всех её возможных формах, применением информации во всех аспектах нашей жизни, включая промышленность, науку, офисы, быт и т.д.

Информационную технологию можно рассматривать как систему научных и инженерных знаний, а также методов и средств, которые используются для создания, сбора, передачи, хранения и обработки информации в соответствующей предметной области [14].

Кратко можно сказать, что информационная технология – это результат сочетания программно-аппаратной компьютерной системы, методов и средств для целевого преобразования, передачи и воспроизведения информации.

К основным характеристикам ИТ относятся следующие:

- предметом процесса обработки является информация, подготовленная для определённых целей;
- цель процесса – получение новой информации в структурированной форме;
- средствами осуществления процесса являются аппаратные, программные и программно-аппаратные комплексы;
- процессы обработки данных разделяются на операции в соответствии с конкретной предметной областью;
- выбор управляющих воздействий на процесс осуществляется лицами, принимающими решения (ЛПР);
- критерий оптимизации процесса включает своевременность доставки информации (пользователю), её надёжность, достоверность, доступность и полноту [29].

При рассмотрении ИТ часто используется понятие жизненного цикла (ЖЦ). Под жизненным циклом ИТ в простейшем случае понимают упорядоченную совокупность изменений его состояний от начального (обычно возникновение замысла) до конечного (прекращение деятельности, утилизация).

Важными особенностями информационных технологий являются:

- быстрое обновление, технические и программные средства ИТ обновляются каждые 1,5 – 2 года;
- постоянное расширение номенклатуры составных частей ИТ;
- увеличение числа выполняемых функций (решаемых задач);
- интеллектуализация;

- повышение требований к уровню подготовленности пользователей, умению быстро осваивать новые методы и средства.

К главным задачам развития ИТ можно отнести следующие:

- поиск технологий, которые из цепочки задача – решение, технический замысел – продукт исключили бы людей, специально занятых преобразованием задач (данных и т.п.) в форму, понятную для ЭВМ, т.е. развитие человеко-машинного интерфейса [78];

- обеспечение инфраструктуры для хранения и передачи информации, в том числе речи, изображений, текста;
- развитие системотехники и программотехники (совершенствование программирования для систем, основанных на использовании знаний);

- во всех отраслях промышленности важнейшей задачей ИТ является автоматизация бизнес-процессов с целью обеспечения конкурентоспособности продукции.

Внедрение и развитие информационных технологий рассматривается как выполнение ИТ-проектов. В выполнении проектов обычно участвуют консалтинговые компании и системные интеграторы.

Под консалтингом понимается деятельность специалистов, занимающихся стратегическим планированием проекта, анализом и формализацией требований к информационной системе, созданием системного проекта, а в ряде случаев и проектированием приложений.

Системными интеграторами обычно называют компании (организации), к которым производители обращаются за помощью в проектировании, установке, подключению и вводу в эксплуатацию различных компонентов новых и модернизируемых информационных систем.

Автоматизированная информационная технология (АИТ) – это технология, в которой для передачи, сбора, хранения и обработки данных используются методы и средства вычислительной техники и систем связи [78].

Под автоматизированной информационной технологией управления (АИТУ) часто понимается система методов и способов сбора, накопления, хранения, поиска, обработки и защиты управленческой информации на основе применения развитого программного обеспечения, средств вычислительной техники и связи, а также способов, с помощью которых эта информация представляется пользователю.

В последние годы широко используются термины «новые» и «новейшие» ИТ.

Новые информационные технологии – это технологии, синтезирующие самые современные автоматизированные методы и способы преобразования информации, в том числе на основе искусственного интеллекта, определяющие характер человеческой деятельности в новом информационном обществе, которое приходит на смену индустриальному обществу [17, 80].

Новая ИТ – это технология, основанная на применении компьютеров, активном участии пользователей (непрофессионалов в области программирования и аппаратных средств) в информационном процессе, высоком уровне дружественного пользовательского интерфейса, широком применении пакетов прикладных программ общего и проблемного направления, использовании режима реального времени и доступа пользователя к удалённым БД и программам благодаря вычислительным сетям ЭВМ [31].

К новым ИТ относятся:

- распределённые базы данных;
- экспертные системы;
- телекоммуникационные сети;
- сенсорные сети;
- беспроводная связь;
- интерактивные видеодиски;
- автоматическое индексирование и отслеживание;
- высокопроизводительные ЭВМ;
- средства поддержки принятия решений и моделирования.

Под новейшими информационными технологиями обычно понимаются продукты интеграции различных ИТ, в результате чего обеспечиваются дополнительные информационные и вычислительные потребности пользователя, поддерживается единый способ взаимодействия пользователя с компьютером, единый способ представления данных, стиль интерфейса.

Свойства таких интегрированных ИТ в значительной степени зависят от свойств осуществляющих её частных технологий, но не определяются ими полностью. Таким образом, интегрированная ИТ не сводится к простой совокупности частных технологий, и рассматривая каждую частную технологию в отдельности, нельзя представить все свойства интегрированной ИТ.

Примером интегрированной ИТ, обеспечивающей тесную согласованную работу на основе информационного взаимодействия всех организаций, которые участвуют в разработке, производстве, реализации, эксплуатации и утилизации, т.е. на всех этапах ЖЦ сложных наукоемких изделий, является CALS-технология. Аббревиатура CALS появилась от Computer Aided Logistics Support – компьютерная поддержка логических процессов, а в настоящее время означает Continuous Acquisition and Lifecycle Support – непрерывная информационная поддержка ЖЦ продукции.

В качестве русскоязычного синонима CALS часто используется аббревиатура КСПИ – компьютерное сопровождение и поддержка ЖЦ изделий или ИПИ – информационная поддержка ЖЦ изделий [43, 77]. Термины достаточно адекватно отражают суть подхода CALS.

Общепризнано, что человечество вступило в эру информатизации, и это наглядно проявляется в следующем:

- информация и информационные ресурсы на мировом рынке становятся важнейшим высокотехнологичным продуктом;
- фирмы, разрабатывающие автоматизированные ИТ, занимают ведущие позиции в мировой экономике, определяют дальнейшие направления развития конкурентоспособной продукции;
- без ИТ невозможно создание иных высоких технологий;
- ИТ открывают новые возможности в повышении эффективности производственных процессов, сфере образования и быта, выводят на новый уровень автоматизацию технологических процессов и управленческий труд, обеспечивают групповое ведение проектных работ, интернет-технологии, CALS-технологии, дистанционное образование и т.д.;
- информатизация общества ведёт к интернационализации производства [85].

ИТ играют важную стратегическую роль в развитии каждой страны и отдельного региона. Эта роль быстро растёт за счёт того, что ИТ:

1) активизируют и повышают эффективность использования информационных ресурсов, обеспечивают экономию сырья, энергии, полезных ископаемых, материалов и оборудования, людских ресурсов, социального времени;

2) реализуют наиболее важные и интеллектуальные функции социальных процессов – занимают центральное место в процессе интеллектуализации общества, в развитии системы образования, культуры, новых (экранных) форм искусства, популяризации шедевров мировой культуры, истории развития человечества;

3) обеспечивают информационное взаимодействие людей, способствуют распространению массовой информации – они быстро ассимилируются культурой общества, снимают многие социальные, бытовые и производственные проблемы, расширяют внутренние и международные экономические и культурные связи, влияют на миграцию населения по планете;

4) оптимизируют и автоматизируют информационные процессы;

5) играют ключевую роль в процессах получения, накопления, распространения новых знаний по трём направлениям. Первое – информационное моделирование, которое позволяет проводить «вычислительный эксперимент» даже в условиях, которые невозможны при натуральном эксперименте из-за опасности, сложности и дороговизны. Второе направление основано на методах искусственного интеллекта, оно позволяет находить решения плохо формализуемых задач, задач с неполной информацией и нечёткими исходными данными по аналогии с созданием метапроцедур, используемых человеческим мозгом. Третье направление базируется на методах когнитивной графики, т.е. совокупности приёмов и методов образного представления условий задачи, которые позволяют сразу увидеть решение либо получить подсказку для его нахождения. Оно открывает возможности познания человеком самого себя, принципов функционирования своего сознания;

6) позволяют реализовать методы информационного моделирования глобальных процессов, что обеспечивает возможность прогнозирования многих опасных ситуаций в регионах повышенной социальной и политической напряжённости, экологических катастроф, крупных технологических аварий.

Исключительно важную роль ИТ оказывают на развитие наукоёмких направлений – нанотехнологии, электроника, телекоммуникационные системы, транспорт, новые источники энергии и т.д. ИТ и электроника вместе с вычислительной техникой являются основой создания высоких технологий.

Необходимость внедрения ИТ для развития промышленности объясняется всё возрастающими требованиями, предъявляемыми к сокращению сроков проектирования и подготовки производства для выпуска новых и модернизируемых изделий, снижению затрат на проектирование и производство, а также изменению стоимости долговременного послепродажного обслуживания [5]. Кроме того, ИТ необходимы для перестройки (реинжиниринга) предприятий в соответствии с современными требованиями повышения качества и конкурентоспособности изделий, восстановления старых рынков сбыта и выхода на новые рынки.

Обновление или реинжиниринг бизнес-процессов с позиций менеджмента определяется как «фундаментальное переосмысление и радикальная перестройка бизнес-процессов компаний с целью достижения коренных улучшений актуальных показателей их деятельности: стоимости, качества, услуг и темпов» [99].

На этапах ЖЦ наукоёмкой продукции широко применяются следующие ИТ.

Во-первых, ИТ, обеспечивающие автоматизированное решение проектных задач – CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer – Aided – Engineering) – автоматизированная система разработки, проектирования и управления производственными процессами. Здесь выделяют «лёгкие» (с меньшим числом функций и более дешёвые), «средние» и «тяжёлые» САПР (с расширенными возможностями и более дорогие).

Во-вторых, специализированные технологии и системы, например, CASE (Computer-Aided Software / System Engineering)-технологии, SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition)-системы, системы моделирования и анализа электронных схем и т.д.

В-третьих, технологии класса MRPII (Manufacturing Resource Planning) и ERP (Enterprise Resource Planning), обеспечивающие решение широкого спектра задач планирования ресурсов и управления деятельностью предприятий. В последние годы, характеризующиеся ожесточением конкуренции, интенсивно развиваются CRM (Customer Relationship Management)-системы как набор приложений или в виде надстройки над ERP. В CRM-системах акцент делается на взаимоотношения компания – клиент и, прежде всего, удержание старых клиентов за счёт учета их индивидуальных потребностей и особенностей. Основными разработчиками ERP-систем являются фирмы Oracle, Microsoft, SAP, BAAN, People Soft и др. К ведущим отечественным компаниям на рынке ERP-систем относятся «Парус», «Галактика», «АйТи», «Цифей».

Расширяется применение технологии XML (eXtensible Markup Language), которая охватывает важнейшие задачи бизнес-приложений: обмен данными между системами разных производителей, обмен документами между предприятия-

ми (B2B – business-to-Business), сбор отчётности государственными организациями, поставка данных интернет-клиентами и др.

Без использования ИТ невозможно функционирование современных предприятий. Грамотное использование ИТ позволяет извлекать максимум пользы из всей имеющейся на предприятии информации и благодаря этому делать более точные прогнозы, избегать возможных ошибок при принятии управленческих и проектных решений в условиях неопределённости и риска. Жёсткая конкурентная борьба делает предприятия крайне чувствительными к малейшим просчетам в управлении, преимущества имеют те предприятия, которые используют современные ИТ.

## 1.5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Значительная часть информационных технологий реализуется в виде информационных систем (ИС), предназначенных для хранения, поиска и выдачи информации по запросам пользователей. По ИС имеется своя развёрнутая терминология.

Информационная система представляет собой прикладную программную подсистему, ориентированную на сбор, хранение, поиск и обработку текстовой и/или фактографической информации; большинство ИС работает в режиме диалога с пользователем [80].

С технической точки зрения, ИС представляет собой набор взаимосвязанных компонентов, которые собирают, обрабатывают, запасают и распределяют информацию, чтобы поддержать процесс принятия решений и управления в масштабе региона, предприятия и т.д. [17].

Автоматизированной информационной системой (АИС) называется организационно-техническая система, использующая автоматизированные информационные технологии в целях информационно-аналитического обеспечения научно-инженерных работ и производственных процессов, а также в целях обучения и управления (computer aided information system) [78].

АИС представляет собой совокупность технических, программных средств и организационных мероприятий, предназначенных для автоматизации информационных процессов в профессиональной деятельности, основным техническим средством АИС является ЭВМ [97].

Таким образом, автоматизированная информационная система представляет собой комплекс программно-аппаратных средств и информационных массивов, предназначенных для сбора, хранения, поиска, переработки и выдачи информации потребителям по их запросам.

АИС являются неизменными составляющими таких крупных систем, как САПР, АСУТП, систем управления качеством, систем визуализации и электронного документооборота, ЕРР-систем, систем маркетинга, систем взаимодействия с клиентами, систем электронного бизнеса (E-commerce) и др.

В настоящее время широкое распространение получают корпоративные информационные системы (КИС), обеспечивающие автоматизацию бизнес-процессов расширенных (виртуальных) предприятий, которые объединяют все организации, участвующие в создании, производстве и сбыте продукции. Говоря о КИС, надо отметить целевое программно-аппаратное обеспечение (управление, проектирование, принятие решений, информационно-поисковые системы и пр.), главными особенностями которого являются распределённость, сетевая платформа и защита корпоративной информации.

В результате развития ИС в направлении автоматизации процессов подготовки информации для формирования множества альтернативных вариантов решения, анализа этих вариантов и выработки наиболее целесообразного решения широкое распространение получают интеллектуальные информационные системы.

Интеллектуальная информационная система (ИИС) представляет собой такую ИС, которая использует наиболее наукоёмкие технологии с высоким уровнем автоматизации не только процессов подготовки информации для принятия решений, но и самих процессов выработки вариантов решений, опирающихся на полученные этой системой данные [89].

ИИС рассматривается как объединённая информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающая во взаимосвязи с человеком (коллективом людей) или автономно, способная на основе сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, вырабатывать решение о действии и находить рациональные способы достижения цели [85].

ИИС способны:

- диагностировать состояние предприятия;
- оказывать помощь в антикризисном управлении;
- обеспечивать выбор оптимальных решений по стратегии развития предприятия и его инвестиционной деятельности;
- поддерживать процессы анализа, оценки и принятия решений;
- оценивать и управлять рисками;
- оказывать помощь при решении задач планирования и т.д.

Для ситуационного анализа и подготовки принятия управленческих решений в региональных организациях создаются комплексы информационно-аналитических средств подготовки и принятия управленческих решений (КИАСПУР).

Методологическую основу КИАСПУР составляют системный анализ и научно-обоснованные процедуры подготовки и принятия единоличных, групповых, коллективных и кооперативных решений.

Использование интегрированных интеллектуальных ИС типа КИАСПУР обеспечивает:

- сокращение времени первичного отбора и обработки информации аналитиками, экспертами и ЛПР;
- достижение большей достоверности информации, многомерности и смысловой глубины первичной проработки альтернативных вариантов развития предприятия;

- высвобождение времени, затрачиваемого на подготовку априорных экспертных оценок по многочисленным рискам и классам источников;
- возможность взаимодействия коллектива специалистов в моно- и сетевом режимах;
- достижение высокой степени обоснованности оценок и рейтингов альтернативных вариантов решения;
- сведение к минимуму грубых ошибок и возможности принятия неперспективных вариантов действия.

В условиях глобализации, когда стирается грань между внутренним и внешним рынками, большое значение приобретают информационные системы интегрированной логической поддержки.

Логистика есть самостоятельная область экономической науки, рассматривающая проблемы рациональности и точности расчёта перемещения материальных и информационных потоков во времени и пространстве.

С расширением и дифференциацией мирового рынка средств информатизации, т.е. вычислительной, периферийной, специальной и коммуникационной техники (Hardware), а также программных, информационных и сервисных средств (Software), множатся варианты возможных решений в области формирования технологической среды ИС.

Предметная область в ИТ отображается множеством информационных моделей, включающим концептуальные, логические математические, алгоритмические модели и программы для ЭВМ. Эти модели представляют предметную область на различных уровнях. Концептуальная модель даёт интегрированное представление о предметной области, она имеет слабоформализованный вербальный характер, т.е. даёт словесное описание о рассматриваемых проблемах и задачах. При рассмотрении процессов накопления, хранения и вывода данных концептуальную модель, описывающую предметную область без ориентации на используемые компоненты ИТ и ИС, иногда называют инфологической. Логическая модель описывает структуру, функциональные связи и другие конкретные сведения, она является промежуточной между концептуальной и математической моделями. Математическая модель представляет собой формализованное описание исследуемой части предметной области на языке математики. Для решения конкретных задач с применением математических моделей на основе математических методов строится алгоритмическая модель, которая задаёт строгую последовательность действий. Непосредственно численные расчёты производятся с помощью программы для ЭВМ, которая разрабатывается в соответствии с алгоритмической моделью.

Непрерывно возрастает роль ИС, которые непосредственно связаны с решением задач устойчивого развития регионов. К таким ИС относятся региональные информационно-аналитические системы (РЕИАС) или региональные информационные центры (РЕИАЦ). Краткие сведения об этих информационных системах приводятся в разд. 2.2.

В чём общность и различие информационных технологий и систем? Реальные объекты в ИТ и ИС представляют информационными моделями в виде совокупности данных и отношений между ними, описывающими различные свойства объекта, которые интересуют разработчиков и пользователей.

С позиции системного подхода, рассматривая ИТ и ИС как системы, можно выделить как ряд общих моментов, так и существенные различия между ними. К общим моментам следует отнести:

- входами и выходами этих систем является информация (данные);
- операторы систем, устанавливающие связь между входами и выходами, представляют собой соотношения, описывающие процессы переработки информации;
- в соответствующей предметной области ИТ и ИС близки по целевому назначению;
- ИТ и ИС имеют ряд близких по назначению составных частей – математическое обеспечение, информационное обеспечение;
- ИТ и ИС являются развивающимися системами.

К различиям ИТ и ИС относят следующие:

- ИТ носят более общий характер, одна ИТ может быть представлена разными ИС;
- основными информационными моделями ИТ являются концептуальная, логическая и математическая, основу ИС составляют алгебраическая модель и программы для ЭВМ;

- сначала разрабатываются ИТ, затем на их основе создаются ИС;
- эффективность ИТ определяется её функциональными возможностями, а эффективность ИС – абсолютными и относительными показателями производительности и стоимости.

В заключение данного раздела приведём обобщенную структуру информационных технологий и систем, которая представлена на рис. 1.2.

Принятые сокращения на рис. 1.2.

САПР (CAD/CAM) – система автоматизированного проектирования-изготовления; АС ТПП (CAE) – автоматизированная система технологической подготовки производства; АСУ ТП (SCADA) – автоматизированные системы управления технологическими процессами (от эффективности которых зависит эффективность производства); КИС (MRP, ERP) – корпоративные информационные системы; ERP II – расширение ERP-системы за контуры производства (т.е. ERP + CRM, B2B, DSS, SCM, PLM и др.); CRM – управление отношениями с клиентами (WF – частный случай CRM); B2B – электронная торговая площадка («онлайн-бизнес»); DSS – поддержка принятия управленческих решений; SPSS – статистический анализ данных; OLAP – анализ многомерных данных; MIS – автоматизированное рабочее место (АРМ) руководителя; SCM – управление цепочками поставок; PLM – управление жизненным циклом продукции; HR – управление персоналом, можно рассматривать как самостоятельную задачу, так и входящую в состав ERP; WF – электронный документооборот (электронная почта); УП – управление производством; ПУ – первичный учёт; ПФ – планирование и бюджетирование; КУ – коммерческий учёт; СУ – складской учёт; БУ – бухгалтерский учёт.

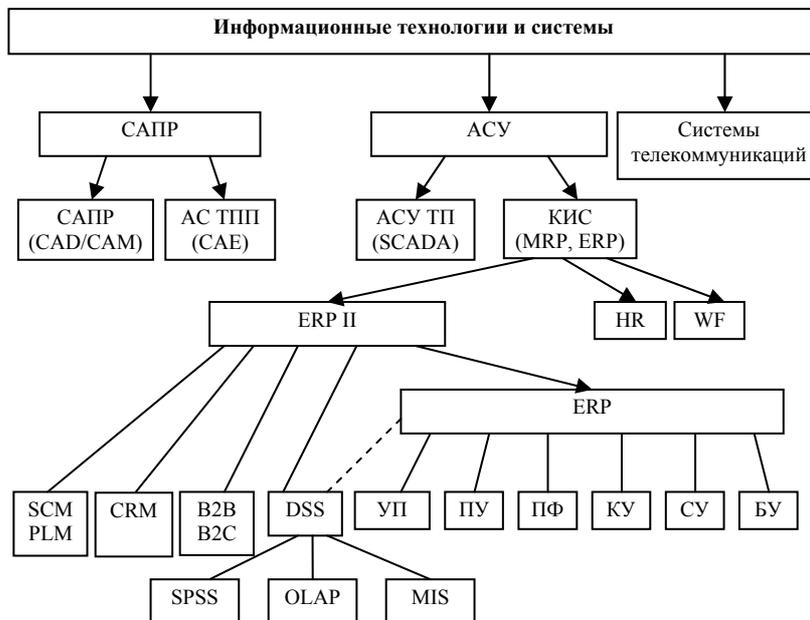


Рис. 1.2. Обобщенная структура ИТ

## 1.6. ИНТЕРАКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РУКОВОДСТВА

Важным фактором повышения эффективности функционирования информационных систем управления УРР в условиях, когда требуется оперативно решать разнообразные сложные задачи, связанные с необходимостью обработки больших объемов информации, является использование интерактивных технических руководств (ИЭТР). Применяемые ИЭТР позволяют решить проблему поиска необходимой информации, обусловленную быстрым ростом документации на бумажных носителях.

ИЭТР или IETM (Interactive Electronic Technical Manual) применительно к сложной наукоёмкой продукции представляет собой программный комплекс, предназначенный для изучения продукции, его составных частей, принципов действия и правил эксплуатации при различных режимах и условиях использования. Кроме того, ИЭТР обеспечивает потребителей (пользователей) информацией о способах поддержания технической готовности продукции, о возможных неисправностях, причинах их возникновения и способах устранения. Необходимую информацию пользователи получают в интерактивном режиме.

Обычно базы данных (БД) ИЭТР содержат информацию в текстовой, графической (2D, 3D) и мультимедийной (анимации) формах. В случае необходимости в ИЭТР должны быть предусмотрены средства доступа к другим источникам информации (хранилищам данных) через компьютерные сети. Базы данных ИЭТР содержат сведения о техническом описании всего изделия и его частей, технологии эксплуатации, обслуживания и ремонта, спецификации изделия, диагностики неисправностей, а также обучающие инструкции.

Разрабатываемые ИЭТР должны удовлетворять требованиям существующих отечественных стандартов, в том числе:

- Р 50.1.029.2001 «ИЭТР. Общие требования к созданию и оформлению»;
- Р 50.1.030.2001 «ИЭТР. Общие требования к созданию и оформлению».

Ряд важных требований содержится в зарубежных стандартах:

- ISO 8879 SGML – способ представления информации в текстографических документах;
- ISO 10179 (Document Style and Semantic Language) – требования к стилю и формату электронной документации;
- MIL-M-87268 (Manuals Interactive Electronic Technical General Content Style and User Interaction Requirement) – требования к электронным руководствам: содержание, стиль.

Роль объекта, представляемого в ИЭТР, может выполнять концептуальная модель (КцМ) единого информационного пространства (ЕИП), используемого для решения задач управления устойчивым развитием региона. Основными особенностями этого объекта являются:

- исключительная сложность, обусловленная большим числом разнообразных по природе компонентов, при этом компоненты представляют собой сложные системы;
- стохастичность и взаимосвязь процессов, протекающих в объекте под влиянием случайных факторов различной природы;
- тесная связь с внешней средой;
- значительная инерционность и возможность быстрых катастрофических изменений;
- высокая размерность переменных в моделях, описывающих процессы даже в отдельных компонентах;
- большое влияние на протекание процессов субъективных факторов;
- постоянные структурные, количественные и качественные изменения в объекте. Достаточно подробно вопросы ЕИП и концептуального моделирования рассматриваются в разд. 2.2 и 2.3.

Перечисленные особенности не позволяют создать точные модели для решения задач управления развитием с гарантированными результатами.

Разрабатываемые ИЭТР должны удовлетворять следующим требованиям [19]:

- простота, легкость освоения без специальных знаний для работы с ней;
- наглядность и актуальность, т.е. отображать все последние изменения в объекте;
- пертинентность, т.е. соответствие содержания руководства информационным потребностям пользователей;
- клиентоориентированность, т.е. учитывать уровень подготовленности пользователей;
- интерактивность, удобная навигация по всем задачам предметной области;
- легитимность и правильность, т.е. заменять информацию, содержащуюся на бумажных носителях, и не содержать ошибок.

По возможности ИЭТР должны обладать свойством интеллектуальности, в частности накапливать опыт и использовать его для формирования множества альтернативных вариантов и оценки мер доверия к принимаемым решениям.

Пользователями ИЭТР применительно к региональному ЕИП в первую очередь являются руководители региона, наделённые правами принятия управленческих решений и ответственные за их последствия, а также руководители служб всех сфер деятельности – социальной, экономической, природоохранной и других. Кроме того, данные, содержащиеся в ИЭТР, используют экспертные группы, службы информационных систем различного уровня, разработчики математического и информационного обеспечений.

Для повышения эффективности использования ИЭТР необходимо учитывать разный уровень подготовленности пользователей области современных информационных технологий. Электронные руководства, обеспечивающие работу групп пользователей с разным уровнем подготовки, называют клиентоориентированными ИЭТР (КО ИЭТР).

Создание КО ИЭТР предусматривает классификацию пользователей, выделение сегментов области знаний, в которых не обеспечивается требуемый уровень компетенций клиентов, разработку структуры ИЭТР, которая может изменить конфигурацию в зависимости от уровня знаний пользователей.

Модель КО ИЭТР может быть представлена следующим кортежем

$$\langle \text{МСПО}, (\text{МК}_i, i = \overline{1, n}), (\text{МК}_j, j = \overline{1, m}), \text{МР}, \text{ОМСФ} \rangle,$$

здесь МСПО – модель структуры предметной области, содержащей информацию об основных частях исследуемой системы;  $\text{МК}_i$  – модель  $i$ -й компоненты (сферы) системы;  $n$  – число выделяемых компонент;  $\text{МК}_j$  – модель (описание)  $j$ -й цели;  $m$  – число важнейших целей в задачах развития системы; МР – модель (описание) имеющихся ресурсов; ОМСФ – описание множества состояний функционирования (возможных ситуаций).

Для разработки ИЭТР могут использоваться различные специальные программные средства. Широки возможностями обладает программный комплекс Seamatica компании «Си Проект». Редактор Seamatica – ED включает универсальную электронную систему отображения (УЭСО). Эти средства позволяют:

- структурированно представлять информацию об объектах предметной области в виде текста и различных иллюстраций;
- использовать гиперссылки для перехода или поиска информации любого вида, содержащейся в БД ИЭТР;
- создавать иллюстрированные материалы для ИЭТР;
- оперативно обновлять информацию в ИЭТР и т.д.

В заключение данного раздела следует отметить, что для сложных социально-экономических и корпоративных систем, проблемы устойчивого развития и роста, конкурентоспособности и экономической эффективности как системы в целом, так и её компонентов, тесно взаимосвязаны и требуют комплексного подхода для их решения. Успех решения этих проблем во многом зависит от умения грамотно сформулировать ключевые задачи для достижения намеченных целей, выбора методов их решения и обеспечения управления потоками проектов.

## 2. ПРОБЛЕМАТИКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

Обеспечение устойчивого развития систем разного масштаба связано с решением широкого класса взаимосвязанных задач. В связи с этим для оперативного решения этих задач требуется формирование единого информационного пространства и использование концептуальных моделей.

### 2.1. ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ

Проблема устойчивого развития социально-экономических систем (СЭС) региона требует решения комплекса задач:

- управление устойчивым развитием системы;
- идентификация ситуаций, обусловленных внешними и внутренними факторами;
- разработка моделей, позволяющих оценивать влияние управляющих и возмущающих воздействий на выходные показатели;
- прогнозирование и др.

В этих задачах будем использовать следующие общие обозначения:  $z$  – вектор фазовых координат размерности  $n$ ;  $y$  – вектор выхода размерности  $l$ ;  $u$  – вектор управления размерности  $m$ ;  $t$  – текущее время;  $h$  – переменная состояния функционирования;  $Z, Y, U, H$  – множества (области) возможных значений соответственно переменных  $z, y, u, h$  [65].

Переменные, относящиеся к различным составляющим социально-экономической сферы, выделяются с помощью индексов, например: пром – промышленное производство; агр – агропромышленный комплекс; стр – строительство; потр – потребительский рынок; соц – социальная сфера; инв – инвестиции и т.д.

Задачи управления, относящиеся к проблеме устойчивого развития региона, исключительно разнообразны и многочисленны. Можно выделить два класса задач, различающихся степенью общности и подходами к их решению.

К первому классу будем относить задачи, в которых регион рассматривается как некоторая единая система или интегрированный

объект управления, объединяющий экономическую и другие сферы. В этом классе задач можно выделить три подкласса – текущие (краткосрочные), тактические (среднесрочные) и стратегические (долгосрочные) задачи управления. Для решения тактических и стратегических задач разрабатываются экономико-математические модели в виде дифференциальных или разностных уравнений. Примером такой модели служит модель Леонтьева, в которой переменными являются потоки продуктов, их производные и потоки конечного потребления, а в качестве параметров рассматриваются матрицы текущих и капитальных затрат. На основе их моделей методами теории оптимального управления находятся эффективные и оптимальные траектории (магистралы) изменения показателей развития региона.

Математическая задача управления первого класса (тактическая или стратегическая) формулируется следующим образом. Задаются:

- модель  $M$  динамики системы на временном интервале  $[t_0, t_k]$

$$M : \begin{cases} \dot{z} = f_h(z, u, A, B, t), & h \in H; \\ y = y(z, C); \end{cases} \quad (2.1)$$

- значения компонент векторов  $z$  и  $y$  в начальный  $t_0$  и конечный  $t_k$  моменты времени

$$(z(t_0), y(t_0)) \rightarrow (z(t_k), y(t_k)); \quad (2.2)$$

- ограничения на управления  $u(t)$  в каждый момент времени  $t$  и интегральные на  $[t_0, t_k]$ , а также на траекторию изменения выходной переменной  $y(\cdot) = (y(t), t \in [t_0, t_k])$ :

$$\forall t \in [t_0, t_k]: u(t) \in U_{\text{доп}}; \quad (2.3)$$

$$G : \begin{cases} \int_{t_0}^{t_k} u(t) dt \leq R; \end{cases} \quad (2.4)$$

$$y(\cdot) \in Y(\cdot); \quad (2.5)$$

- функционал  $F$ , определяющий цель развития:

$$F(y(t_k), u(\cdot)) \rightarrow \underset{u(\cdot)}{\text{extr}}. \quad (2.6)$$

Требуется определить оптимальную траекторию (программу) изменения управления  $u^*(\cdot) = (u^*(t), t \in [t_0, t_k])$  такую, при которой достигает экстремума функционал  $F$ , выполняются необходимые ограничения и условия, а также траектории  $z^*(\cdot), y^*(\cdot)$  и стратегию  $S$  для реализации  $u^*(t)$ .

В ряде случаев конечное состояние в момент времени  $t_k$  жёстко не закреплено, а задаётся множеством  $\Omega(z(t_k), y(t_k))$ , интегральное ограничение (2.4) отсутствует, решение ищется в классе кусочно-постоянных функций, модель динамики (2.1) записывается в дискретном виде, в качестве функционала  $F$  (2.6) может использоваться векторный критерий. Такая задача управления формулируется следующим образом.

Задаются:

- модель  $M$  динамики системы на временном интервале  $[t_0, t_k]$

$$M : \begin{cases} z(t + \Delta t) = z(t) + f(z, u, A, B, t); \\ y = y(z, C); \end{cases} \quad (2.7)$$

- начальные значения компонент векторов  $z$  и  $y$  в начальный момент времени  $t_0$

$$z(t_0), y(t_0); \quad (2.8)$$

- множество  $\Omega$  возможных значений компонент векторов  $z$  и  $y$  в конечный момент времени  $t_k$

$$\Omega = \{(z(t_k), y(t_k))\}; \quad (2.9)$$

- ограничения на управление  $u(t_i)$  в моменты времени  $t_i$

$$u(t_i) \in U_{\text{доп}}(t_i), \quad \forall t_i \in [t_0, t_k]; \quad (2.10)$$

- ограничения на траекторию изменения выходных переменных  $y(\cdot)$

$$y(\cdot) \in Y(\cdot), y(\cdot) = \{y(t), t \in [t_0, t_k]\}; \quad (2.11)$$

- функционал  $\bar{F}$ , определяющий эффективность управления:

$$F(u) \rightarrow \max_u, \quad (2.12)$$

причём

$$F \in \{F^{\text{пром}}, F^{\text{соц}}, F^{\text{эк}}\}, \quad (2.13)$$

где  $F^{\text{пром}}, F^{\text{соц}}, F^{\text{эк}}$  – составляющие множества различных функционалов.

Требуется найти на временном интервале  $[t_0, t_k]$  такую стратегию управления  $u$  – кусочно-постоянную во времени (поквартальную) программную траекторию, что функционал (2.12) максимален и выполняются условия в виде математической модели (2.7) и ограничений (2.8) – (2.11).

В некоторых случаях в результате решения задач управления (2.7) – (2.13) определяется магистраль  $y^*(\cdot) = (y^*(t), t \in [t_0, t_k])$ , которая представляется в дискретном виде

$$y_d^*(\cdot) = (y(t_0), y^*(t_0 + \Delta t), y^*(t_0 + 2\Delta t), \dots), \quad (2.14)$$

здесь  $\Delta t$  – временной шаг дискретизации (месяц, квартал, полгода или год).

В моменты времени  $t_1 = t_0 + \Delta t, t_2 = t_0 + 2\Delta t, \dots$  производится оценка реальных значений  $\hat{y}(t_i), i = 1, 2, \dots$ . Если  $\hat{y}(t_i)$  существенно отличается от значений  $y^*(t_i)$ , то вырабатываются корректирующие воздействия, т.е. решается задача стабилизации магистрали  $y^*(\cdot)$ , либо заново решается задача управления с учётом сложившейся ситуации.

Модель  $K$  задачи управления первого класса можно сокращённо записать в виде кортежа

$$K = \langle M, F, S, G \rangle, \quad (2.15)$$

где  $M$  – модель динамики системы;  $F$  – вид функционала;  $S$  – стратегия реализации управления;  $G$  – накладываемые ограничения.

Задачи управления второго класса рассматриваются как задачи управления проектами. При этом выделяют следующие подклассы задач управления:

- отдельными региональными проектами;
- потоком региональных проектов;
- отдельными проектами федерального уровня;
- потоком проектов федерального уровня;
- проектной средой.

В дальнейшем отдельные региональные проекты, т.е. проекты, выполняемые за счёт внутренних ресурсов региона, будем называть просто проектами. Проекты федерального уровня – это проекты, требующие привлечения средств федерального бюджета, – назовём программами. Управление потоками проектов и программ в регионе будем рассматривать как управление мультипроектной средой.

Каждый проект и программа имеют свои этапы жизненного цикла (ЖЦ). Задачи, решаемые на отдельных этапах ЖЦ, будем называть задачами принятия проектных решений. Обычно эти задачи связаны с формированием множества альтернативных вариантов и выбором наиболее предпочтительного. Во многих случаях задача управления проектом (программой) сводится к последовательности задач принятия проектных решений.

Задачи принятия проектных решений, управления проектами, программами и мультипроектной средой связаны между собой через ограниченные ресурсы и общие цели социально-экономического развития региона.

Задача принятия проектного решения (на стадии ЖЦ проекта или программы) заключается в следующем. Формулируется проблема (цель) и выбирается критерий  $Q$ , характеризующий степень достижения цели; формулируется множество альтернативных вариантов  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  решения проблемы; выделяется множество состояний функционирования  $H$ . Требуется выбрать стратегию  $S$  выработки решения и определить вариант  $v^* \in V$ , при котором критерий  $Q$  достигает экстремального значения с учётом возможных состояний функционирования  $h \in H$ . Сокращённо задачу принятия проектного решения (ЗППР) будем обозначать кортежем

$$\text{ЗППР} = \langle Q, V, S, H; v^* \rangle. \quad (2.16)$$

Вариантами задачи (2.16) являются задачи, когда критерий  $Q$  является векторной величиной, на варианты  $v$  накладываются ограничения, для состояний функционирования  $h$  известны их вероятности  $p(h)$ , требуется определить подмножество  $v^* \subset V$  предпочтительных (Парето-оптимальных) вариантов.

Задача управления проектом (региональным), сокращённо ЗУПр, формулируется следующим образом. Известны значения выходных показателей проекта  $y(T)$ , которые должны быть достигнуты к моменту времени  $T$ ; состояние работ по проекту  $z(t)$  в текущий момент времени  $t$ ; требуемые ресурсы  $\text{Re}(m)$  для выполнения  $m$  оставшихся этапов ЖЦ проекта; ограничения на управляющие воздействия

$$U(m) \in U_{\text{доп}}, \quad (2.17)$$

здесь  $U_{\text{доп}}$  – область допустимых значений управления; соотношения, связывающие значение вектора  $z(t_1), t > t$  и управление  $u(t_1)$ , т.е.

$$z(t_1) = f(z(t), u(t_1)) \quad (2.18)$$

и вектор выхода  $y(t_1)$  с  $z(t_1)$

$$y(t_1) = f_y(z(t_1)); \quad (2.19)$$

допустимая величина риска  $R_{\text{доп}}$ ; возможные изменения состояний функционирования

$$h(\cdot) = (h(t_1), t \leq t_1 \leq T). \quad (2.20)$$

Требуется определить управляющие воздействия  $U^*(m)$  для оставшихся этапов ЖЦ проекта такие, чтобы выполнялись ограничения (2.17) и риск недостижения результатов  $y(T)$  проекта при возможных изменениях состояний функционирования  $h(\cdot)$  был минимальным.

Рассмотренную задачу управления проектом будем обозначать коротко

$$\text{ЗУПр} = \langle y(T), m, \text{Re}, U_{\text{доп}}, z(t), f, f_y, h(\cdot), R_{\text{доп}}, U^*(m), \min R_i \rangle. \quad (2.21)$$

Разновидностями задачи (2.21) являются: использование в качестве критерия оптимизации одного из компонентов вектора выхода  $y$  или минимизация затрат на проект; введение дополнительных ограничений и др.

При рассмотрении большинства ЗУПр учитываются следующие компоненты: социальные  $Y_c$ , производственные  $Y_{\text{пр}}$ , экономические  $Y_{\text{эк}}$ , природоохранные  $Y_{\text{по}}$ , а также и другие. В связи с этим модель результатов проекта (МРПр) можно записать в виде

$$\text{МРПр} = (Y_c, Y_{\text{пр}}, Y_{\text{эк}}, Y_{\text{по}}). \quad (2.22)$$

Проект считается выполненным, если компоненты МРПр превысили начальные значения  $Y_j(t), j \in \{c, \text{пр}, \text{эк}, \text{по}\}$  на требуемую величину  $dY_j$ . Таким образом, должно выполняться условие

$$Y_j(t) = Y_j(t) + dY_j(t), j \in \{c, \text{пр}, \text{эк}, \text{по}\}. \quad (2.23)$$

Дополнительно к массиву (2.22) задаётся массив приоритетов (весовых коэффициентов) компонентов  $C(Y_j), j \in \{c, \text{пр}, \text{эк}, \text{по}\}$ , которые учитывают важность компонентов и возможность уменьшения значений показателей при недостаточности ресурсов.

О каждом проекте в базу данных (БД) ИС управления проектами заносится информация в соответствии с принципом 1.

**П р и н ц и п 1** (формирования БД). Информация, содержащаяся в БД, должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) востребованности при решении задач управления различными или несколькими проектами;
- 2) востребованности при решении задач оценки текущего состояния региона и прогнозирования ситуаций применительно к проблеме устойчивого развития;
- 3) быть представленной в виде объектов (данных), процессов (действий) и моделей (зависимостей);
- 4) достоверности (адекватности).

В соответствии с данным принципом по отдельной ЗУПр в БД заносится следующая информация:

- шифр проекта (идентификационный номер), время запуска ( $t$ ) и окончания ( $T$ );
- техническое задание (ожидаемые результаты);
- выделяемые ресурсы и накладываемые ограничения;
- фактически достигнутые результаты;
- используемые модели.

По степени инновационности можно выделить следующие классы проектов:

- 1) инновационные проекты, которые не имеют прототипов, для их выполнения нет накопленного опыта, им присуща высокая неопределённость;
- 2) проекты, имеющие близкие прототипы в регионе или других регионах, для выполнения этих проектов в основном требуется привязка к местным условиям;
- 3) проекты, не имеющие близких прототипов, при их выполнении требуется проведение отдельных научно-исследовательских работ, связанных например, с построением новых математических моделей.

В ходе выполнения этих проектов осуществляется мониторинг внешней среды (внешнего окружения). Получаемые результаты решения ЗУПр и мониторинга используются в БД в соответствии с принципом 2.

**П р и н ц и п 2** (обновления БД). Если при выполнении текущего проекта и проводимого мониторинга внешней среды получена информация, более адекватно характеризующая объекты, действия и модели, содержащиеся в БД, то ранее занесённая информация заменяется на новую, при этом новая информация сразу же задействуется при управлении выполняемыми проектами.

Основными задачами управления потоком региональных проектов (ЗУПрПр) являются: определение времени запуска очередного проекта; прогнозирование изменения выходных показателей проектов; оптимальное распределение ресурсов между проектами; оптимизация структуры потока региональных проектов и др. Задача определения времени запуска очередного регионального проекта формулируется в зависимости от сложившейся ситуации и с учётом имеющихся ресурсов. Для её решения формируется множество альтернативных вариантов и выбирается вариант, при котором будет обеспечена максимальная эффективность от выполненного проекта.

Задача прогнозирования выходных показателей играет важную роль для обоснованного принятия технического задания, которое должно учитывать реальные возможности научно-технического прогресса. Характер изменения выходных показателей во времени различен в разные периоды развития региональной экономики. Эти изменения могут иметь уча-

стки незначительного тренда, участки с постоянными значениями, связанные с исчерпанием возможностей используемых принципов и методов, и участки быстрого и даже скачкообразного роста при использовании новых методов и технологий.

Задачи оптимального распределения ресурсов между проектами формулируются с учётом их важности. Для этого определяются рейтинги проектов, отражающие их значение для устойчивого развития региона.

Задача оптимизации структуры потока проектов предполагает определение целесообразной номенклатуры решаемых задач в регионе; определение времени, когда требуется изменение существующей структуры потока проектов и т.п.

Задачи управления проектом федерального уровня (ЗУПрФ) существенно отличаются от задач управления региональным проектом. К этим отличиям, прежде всего, следует отнести следующие: значительно большая масштабность; жёсткая регламентация используемых ресурсов и сроков выполнения этапов ЖЦ; высокая степень инновационности; большая ответственность за достижение планируемых результатов (выполнение технического задания). Поэтому в ЗУПрФ большое внимание уделяется оценке рисков.

**О п р е д е л е н и е 1.** Риск проекта представляет собой множество  $R_i$  сочетаний  $\{< qj, wj >, j=1, 2, \dots, v\}$  вероятностей  $qj$  событий, заключающихся в недостижении целей проекта, и последствий  $wj$  этих негативных событий, оцениваемых количественно (здесь  $v$  – число возможных негативных событий).

В ЗУПр и ЗУПрФ следует различать два рода рисков. Риски первого рода связаны с опасностью нарушения сроков выполнения проекта или невыполнения параметров технического задания в полном объёме вследствие субъективных факторов (недостаточная квалификация исполнителей проекта, нерациональное использование ресурсов и т.п.). К рискам второго рода относятся риски, обусловленные непредвиденными воздействиями факторов внешней среды.

Основными задачами управления общим потоком проектов, включающим проекты федерального уровня, являются следующие: построение модели общего потока проектов, задачи реинжиниринга, принятие решений о стратегическом партнерстве, а также задачи, уже рассмотренные для потока региональных проектов (прогнозирование изменения выходных показателей проектов, оптимальное распределение ресурсов между проектами и др.).

Задачи реинжиниринга возникают, когда решение других задач управления потоками проектов не приводят к заметным изменениям ключевых показателей, характеризующих развитие региона (валовый региональный продукт, темп роста производства, денежные доходы населения, реальная заработная плата и т.д.). «Реинжиниринг – это принципиальное переосмысление и радикальная перестройка бизнес-процессов для достижения кардинальных улучшений критических современных показателей эффективности: стоимости, качества, сервиса и оперативности» [98].

Термин «реинжиниринг» был введен применительно к корпорациям, однако большинство его положений справедливы и для перестройки бизнес-процессов в регионе. Отличительными особенностями реинжиниринга региона являются: большое число выполняемых одновременно различных по масштабам и назначению проектов, высокие размерности входных и выходных переменных и другие факторы, характерные для больших систем.

Как уже отмечалось, под бизнес-процессом обычно понимается устойчивая и целенаправленная совокупность взаимосвязанных видов деятельности (последовательностей работ), которые по определённой технологии преобразуют входы (ресурсы, т.е. сырьё, материалы, финансы, персонал, оборудование и т.д.) в выходы (продукты, услуги), представляющие ценность для потребителей [25].

Частные задачи реинжиниринга характеризуются высокой степенью неопределённости и сложности, в результате их решения требуется определить, когда следует начать работы по реинжинирингу, выявить позиции, которые требуют улучшения, принять решение о вносимых улучшениях, спланировать и реализовать эти изменения.

В ряде случаев для обеспечения устойчивого развития региона решаются задачи заключения стратегического партнёрства с другими регионами. Эти задачи связаны с выбором вида партнёрства, определением состава участников партнёрского соглашения и т.п. Особенно часто необходимость партнёрства возникает при решении проблем, связанных с природоохранными мероприятиями, разработкой полезных ископаемых, строительством транспортных магистралей и других, выходящих за пределы одного региона.

Как видно из постановок задач управления, их решение тесно связано с задачами идентификации и моделирования.

Термин «идентификация» в основном используется применительно к задачам построения математических моделей по результатам наблюдения над входными и выходными переменными исследуемого объекта. В зависимости от априорной информации об объекте различают задачи идентификации в широком и узком смысле [101].

В задачах идентификации в широком смысле априорная информация об объекте очень бедная. В связи с этим для построения модели приходится решать дополнительные задачи, связанные с определением структуры объекта, выбором класса возможных моделей, входных и выходных переменных, необходимости учёта нестационарности, нелинейности и т.д.

Задачи идентификации в узком смысле обычно формулируются как задачи оценивания параметров модели и состояния объекта по результатам наблюдения за входными и выходными переменными объекта в процессе его функционирования. При этом структура объекта и вид модели считаются известными.

Таким образом, наряду с построением математических моделей, задачи идентификации применительно к проблеме устойчивого развития предполагают:

- оценку значений фазовых координат  $z(t)$ , выходных переменных  $y(t)$  и управлений  $u(t)$  в текущий момент времени  $t$ , характеризующих оценку социально-экономической ситуации в регионе;
- сопоставление полученных значений  $z$ ,  $y$ ,  $u$  с ожидаемыми в соответствии с планом устойчивого развития региона, а также показателями лидирующих регионов и средними значениями по РФ;
- анализ результатов и принятие решения, вытекающего из текущей ситуации.

Альтернативными вариантами принимаемого решения по результатам идентификации могут быть следующие: текущее состояние соответствует плану развития и не требуется вносить изменений в программу управления; имеются отклонения от планируемых значений и необходимо выявить причины этих отклонений для выработки корректирующих действий и др.

В качестве системы обобщённых показателей социально-экономической ситуации в регионе может использоваться кортеж

$$\langle Y, K, L, I, J, C, D \rangle, \quad (2.24)$$

где  $Y$  – объём произведенной продукции в регионе;  $K$  – стоимость основных производственных фондов (производственного капитала);  $L$  – стоимость человеческого капитала;  $I$  – объём инвестиций в производственный капитал;  $J$  – объём инвестиций в человеческий капитал;  $C$  – объём потребления;  $D$  – доходы регионального бюджета.

Дополнительно в кортеж (2.24) могут вводиться компоненты:  $W$  – инновационный капитал;  $R$  – ресурсы (сырьевые, энергетические, природные и др.) и др.

В общем случае задачи прогнозирования связаны с обоснованным предсказанием значений выходных показателей проектов. Математически задача прогноза формулируется следующим образом.

На основе анализа составляющих компонентов (2.22) формируется объединённый вектор прогнозируемых параметров

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n). \quad (2.25)$$

По данным выполненных проектов заполняется исходная матрица в виде следующей таблицы

$$J_{\text{пр}} = \begin{pmatrix} t_1 & a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{i-1} & a_{1i-1} & a_{2i-1} & \dots & a_{ni-1} \end{pmatrix},$$

здесь  $t_v$ ,  $v = \overline{1, i-1}$  – время запуска  $v$ -го проекта;  $a_{sv}$ ,  $s = \overline{1, n}$ ,  $v = \overline{1, i-1}$  – значение  $s$ -го параметра при запуске  $v$ -го проекта.

Аналогичная матрица данных  $J_2$  собирается на основе проектов, выполненных в конкурирующих регионах:

$$J_{\text{к}} = \begin{pmatrix} t_1^{\text{к}} & a_{11}^{\text{к}} & a_{21}^{\text{к}} & \dots & a_{n1}^{\text{к}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_N^{\text{к}} & a_{1N}^{\text{к}} & a_{2N}^{\text{к}} & \dots & a_{nN}^{\text{к}} \end{pmatrix}.$$

Оформляется информационный массив высказываний экспертов и потребителей в виде пожеланий, которые могут быть представлены нечёткими числами

$$\tilde{J}_3 = (\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n).$$

Кроме того, считаются известными следующие операторы:

- выделения на основе данных  $J_{\text{пр}}$ ,  $J_{\text{к}}$ ,  $\tilde{J}_3$  массива параметров

$$A = \{ \bar{a}_j, j = \overline{1, m}; m \leq n \},$$

которые должны быть улучшены (ключевые факторы успеха), т.е.

$$L_{\text{кфу}} : (J_{\text{пр}}, J_{\text{к}}, \tilde{J}_3) \rightarrow \bar{A};$$

- определения численных или интервальных значений составляющих вектора  $A$  для  $i$ -го проекта

$$L_A : (J_{\text{пр}}, J_{\text{к}}, \tilde{J}_3, \bar{A}) \rightarrow A_i;$$

- определения численных или интервальных значений компонентов модели и других характеристик для  $i$ -го проекта, т.е.

$$L_y : A_i \rightarrow (Y_c, Y_{\text{пр}}, Y_{\text{эк}}, y_{\text{по}}).$$

Требуется на основе информации  $J_{\text{пр}}$ ,  $J_{\text{к}}$ ,  $\tilde{J}_3$  с использованием операторов  $L_{\text{кфу}}$ ,  $L_A$ ,  $L_y$  определить исходные данные для очередного проекта, т.е. значения улучшений  $dY_j$ ,  $j \in \{c, \text{пр}, \text{эк}, \text{по}\}$ .

Успешное решение всех рассмотренных в настоящем разделе во многом взаимосвязанных задач возможно лишь на основе создания единого информационного пространства.

## 2.2. ЕДИНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО

В общем случае единое информационное пространство (ЕИП) рассматривается как совокупность баз и банков данных, а также технологий их ведения и использования, в информационно-телекоммуникационных системах и сетях, которые функционируют на основе единых принципов и по общим правилам. ЕИП обеспечивает информационное взаимодействие различных организаций и граждан для удовлетворения их потребностей.

Главными компонентами ЕИП являются:

- информационные ресурсы (ИР), содержащие данные, сведения и знания, зафиксированные на соответствующих носителях информации;
- организационные структуры, обеспечивающие функционирование и развитие ЕИП, в частности, сбор, обработку, хранение, распространение, поиск и передачу информации;
- средства информационного взаимодействия граждан и организаций, обеспечивающие им доступ к информационным ресурсам на основе соответствующих информационных технологий, включающие программно-технические средства и организационно-нормативные документы.

Организационные структуры и средства информационного взаимодействия образуют информационную инфраструктуру.

Основными целями при формировании и развитии регионального ЕИП являются:

- создание и поддержание необходимого для устойчивого развития региона информационного потенциала;
- повышение согласованности решений, принимаемых федеральными, региональными органами власти и органами местного самоуправления;
- предоставление возможности контроля со стороны граждан и общественных организаций за деятельностью органов региональной власти;
- повышение деловой и общественной активности граждан, уровня их правосознания путём предоставления возможности пользоваться открытой научно-технической, социально-экономической и другой информацией;
- интеграция с Российским и мировым информационными пространствами.

К разрабатываемому региональному ЕИП предъявляются жёсткие требования. Основными из них являются следующие:

- использование единых принципов и правила применения распределённых БД и банков данных (БнД);
- обеспечение необходимыми информационными ресурсами решение задач управления УР региона;
- интеграция с федеральными и мировыми информационными пространствами (ресурсами), а также независимо от ведомственной принадлежности; объединение с независимыми источниками информации;
- обеспечение совместимости для корпоративных хранилищ данных (ХД) ИР на базе существующих стандартов, систем классификации кодирования и общих справочников;
- обеспечение полноты, точности, достоверности и своевременности представления информации;
- обеспечение связей по горизонтали (единая методология сбора и т.д.) и по вертикали (информация создаётся на местах);
- обеспечение связи со всеми ИС в регионе;
- отражение всех компонентов структуры региона.

Для полного учёта ресурсов региона все корпоративные ИС должны функционировать в тесном взаимодействии.

Информационные ресурсы (ИР) органов региональной власти (ОРВ) представляют собой совокупность распределённых БД, построенных по ведомственному, территориальному и проблемному признакам. Политика в области ИР должна предусматривать решение следующих задач:

- создание необходимых условий для удовлетворения информационных потребностей ОРВ, установление порядка формирования и использования ИР всеми участниками информационных отношений в рамках ЕИП;
- интеграция ИР независимо от их ведомственной принадлежности;
- обеспечение совместимости и взаимодействия ИС на базе современных ИТ, существующих стандартов, систем классификации и кодирования;
- определение региональных заказчиков, ответственных за создание ИС и ИР, а также за их эффективное функционирование в ЕИП;
- определение региональных органов, ответственных за ведение отдельных ИР;
- повышение уровня информационной грамотности;
- расширение и укрепление информационных связей между общественными структурами, укрепление общественного доверия и согласия;
- обеспечение полноты, точности, достоверности и своевременности представления информации;
- обеспечение комплексной защиты ИР;
- объединение и развитие независимых источников информации;
- использование современной телекоммуникационной среды.

Важным условием формирования ИР является обеспечение кооперативных связей по горизонтали и по вертикали. Горизонтальная кооперация необходима для создания единой методологии комплексного сбора первичной информации ОРВ о различных объектах, а её цель – сокращение затрат на подготовку первичной информации. Вертикальная кооперация заключается в том, что на всех уровнях управления используется информация, созданная на местах, а также содержащаяся в различных БД, её цель – сокращение затрат на обработку информации.

Для решения задач устойчивого развития с использованием ЕИП в регионах создаются региональные единые информационно-аналитические системы (РЕИАС) или региональные информационно-аналитические центры (РИАЦ). РЕИАС представляют собой организационно упорядоченную совокупность ИР и ИТ с использованием средств вычислительной техники и связи, система реализует информационные процессы по обеспечению подготовки принятия управленческих решений по устойчивому развитию региона на основе интеграции информационных потоков и создания ЕИП.

Основными целями и задачи РЕИАС являются:

- создание ИР, необходимых для решения задач устойчивого развития;
- ускорение процедур прохождения информации от стадии сбора до анализа;

- создание единой методической, организационной и технологической основы формирования ИР;
- обеспечение связи со всеми информационными системами (ИС) в регионе;
- обеспечение безопасности и устойчивости функционирования ИТ и защиты ИР.

При создании РЕИАС учитываются следующие принципы:

- сбалансированность интересов РФ, региона и его компонентов;
- использование научных и практических результатов ранее выполненных работ в соответствующих направлениях;
- информационная совместимость ИС, участвующих в решении задач устойчивого развития (ЗУР);
- широкое использование новых ИТ.

РЕИАС имеет иерархическую многоуровневую структуру, в которой выделяются:

- уровень организаций и служб региона;
- территориальный уровень;
- федеральные службы, расположенные в регионе.

Использование РЕИАС обеспечивает:

- улучшение качества и сокращение сроков принятия управленческих решений в ЗУР;
- повышение эффективности использования региональных ресурсов;
- повышение оперативности и качества представления информации для решения ЗУР;
- развитие ЕИП в регионе.

Для построения корпоративных ИС может использоваться комплекс средств поддержки принятия решений ИНФОВИЗОР (ИВ), который включает следующие системы:

- система администрирования ХД, это CASE-средства для описания КцМ предметной области (строится модель «сущность – связь»);
- система навигации по ХД и генерации нерегламентируемых запросов (это настраиваемое ядро корпоративной информационно-поисковой системы);
- система организации сбора информации для ХД (набор средств для наполнения и обновления корпоративной БД);
- система администрирования многомерного анализа данных (средство построения многомерного интерфейса над реляционной БД);
- система многомерного анализа данных, накопленных корпоративных БД (используются механизмы оперативной аналитической обработки OLAP), агрегированная информация представляется в виде отчётов, диаграмм, геоинформационных карт и т.д.

Основными этапами построения корпоративных ИС на основе комплекса ИВ являются:

- информационное обследование с целью разработки информационной модели ХД;
- организация ведения интегрированной БД, при этом в комплексе ИВ КцМ предметной области поддерживается с помощью специального CASE-средства;
- разработка систем анализа накопленной информации на основе инструментальных средств ППР, построение информационных моделей («виртуальных звёзд»), посредством которых осуществляется оперативный анализ численных данных.

### 2.3. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Важное место в обеспечении устойчивого развития и конкурентоспособности предприятий занимают методы моделирования и, в частности, компьютерного моделирования. С использованием математических моделей решается широкий комплекс задач, связанных с оптимизацией процессов, прогнозированием развития ситуаций, оценкой рисков, принятием решений и других. Наиболее важными моделями на первых этапах моделирования являются концептуальные модели и модели бизнес-процессов.

Концептуальная модель (КцМ) отражает элемент структуры организации и её связи с потребителями. На её основе определяются целевой рынок, ключевое производство и операционные возможности. Выбор целевого рынка является сложной задачей, в результате решения которой предприятие может полностью изменить направление своей деятельности, например отказаться от сегмента рынка, который не приносит дохода. Под ключевыми операционными возможностями или областью компетенции понимают навыки и приёмы, отличающие предприятие от его конкурентов. Возможности предприятия включают технологию, применяемые системы и персонал.

Для успешного решения задач управления предприятием создаётся интегрированная информационная среда (ИИС) в виде совокупности распределённых баз данных (БД), содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия. ИИС должна обеспечивать сохранность, корректность, актуальность и доступность данных персоналу, участвующему в осуществлении жизненного цикла (ЖЦ) изделия. ИИС создаётся на основе концептуального описания предметной области и объединяет разнородные по природе и форме информации модели, необходимые для управления предприятием.

В общем случае под управлением предприятием понимается особый вид бизнес-процесса, в ходе которого определяются цели предприятия, собирается и анализируется информация о ходе производственных процессов, принимаются решения и выполняются действия, необходимые для достижения целей. Множество варьируемых параметров в алгоритмах управления позволяет улучшать динамические свойства предприятия за счёт поиска областей эффективных значений в процессе машинных экспериментов с моделями, содержащимися в ИИС.

Модель предметной области, созданная на концептуальном уровне, позволяет глубже вникнуть в процессы, происходящие на каждом из этапов ЖЦ изделия, и тем самым повысить достоверность использования средств моделирования.

Концептуальная модель предметной области создается на основе БД, баз знаний (БЗ), экспертных систем (ЭС) и других средств компьютерного моделирования [89]. На рис. 2.1 представлена упрощённая схема модели предметной области производственной системы [102].

Модели данных, определяющих изделие, представляют собой совокупность информационных объектов и правил их взаимодействия, необходимых для полного его описания, в том числе его геометрии, топологий, свойств и т.д., используемых на всех стадиях ЖЦ. В свою очередь информационный объект рассматривается как совокупность данных и программного кода, которая обладает свойствами и методами, позволяющими определённым образом обрабатывать данные.

Информационная модель представляет собой совокупность данных и отношений между ними и предназначена для описания различных свойств реального объекта, которые интересуют разработчика модели и потребителя [89].

Концептуальная модель должна отражать организационную структуру предприятия. Под структурой обычно понимают совокупность составляющих систему компонентов и устойчивых связей между ними. В каждой производственной системе имеется несколько различных структур, в том числе линейная, которая характеризует производственную деятельность; функциональная, она объединяет подразделения с управляющими функциями (маркетинг, финансы и т.д.); структура центров планирования (бизнес-план и маркетинг) и структура центров учета (финансы). Эти структуры в различных вариантах порождают организационные структуры предприятия. Заметим, что организационная структура в некотором смысле представляет собой альтернативу штатному расписанию. Основными видами организационных структур являются: линейно-функциональная, дивизиональная (от division – подразделение) и матричная [89]. Схемы этих структур представлены соответственно на рис. 2.2 – 2.4.

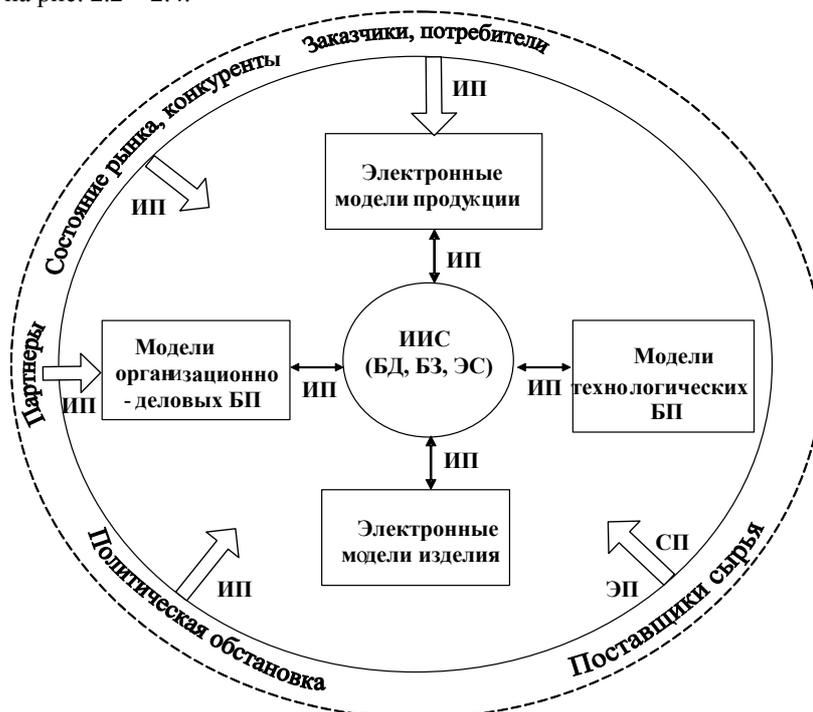


Рис. 2.1. Концептуальная модель предметной области:

СП – сырьевые потоки; ЭП – экономические потоки;  
ИП – информационные потоки; БП – бизнес-процессы

Линейно-функциональная и дивизиональная структуры наиболее широко распространены на практике.



Рис. 2.2. Схема линейно-функциональной структуры

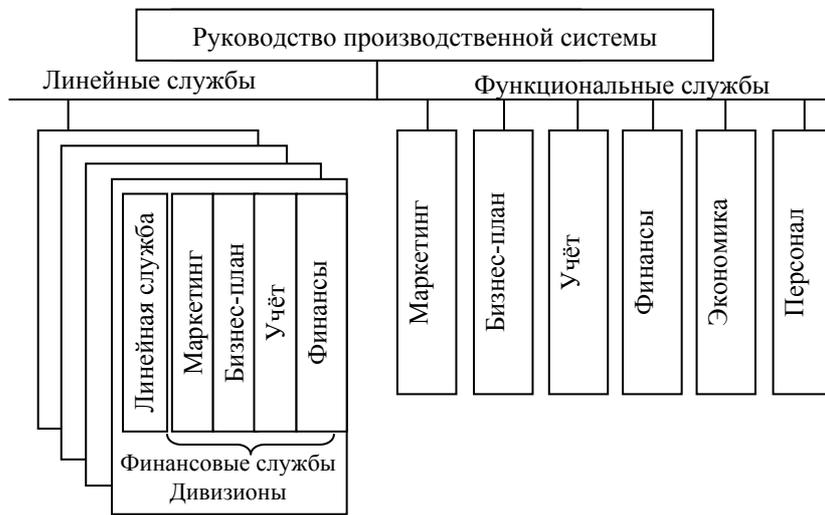


Рис. 2.3. Схема дивизиональной организационной структуры



Рис. 2.4. Схема варианта матричной организационной структуры:  
 ○ – матричные группы (виртуальные подразделения)

Основными характеристиками линейно-функциональной структуры являются следующие:

- стабильность, т.е. она эффективна в стабильных условиях рынка;
- сравнительно низкие затраты на управленческий персонал;
- специализация и компетентность;
- быстрое решение простых проблем, находящихся в компетенции одной функциональной службы;
- ориентация на действующие технологии и сложившийся рынок;
- ориентация на ценовую конкуренцию.

Дивизиональная структура более приспособлена к условиям конкурентной среды. Её характеристиками являются:

- гибкость, т.е. эффективность в динамичной среде;
- оперативность принятия решений;
- междисциплинарный подход;
- быстрое решение сложных межфункциональных проблем;
- ориентация на новые рынки и технологии;
- ориентация на неценовую конкуренцию.

Матричная организационная структура управления представляет собой наиболее современный и эффективный тип структуры. Здесь по вертикали осуществляется управление линейными (производственными) и функциональными службами, а по горизонтали – управление программами и проектами (программно-целевой деятельностью). Руководитель соответствующей программы (проекта) работает со специалистами, которые подчинены линейным руководителям. Линейный руководитель решает, кто и как будет выполнять ту или иную работу.

Достоинствами матричной структуры являются:

- активизация деятельности работников;
- распределение функций управления между работниками программ и начальниками линейных (функциональных) подразделений;
- вовлечение руководителей и специалистов в активную творческую деятельность.

К недостаткам этой структуры следует отнести:

- матричные группы не являются устойчивыми образованиями;
- работники часто перемещаются из одной группы в другую;
- отмечается частая смена руководителей и повышенный уровень конфликтности.

Для каждой организационной структуры предприятия имеется своя специфика задач управления и соответствующих моделей. Например, для эффективного функционирования предприятий, имеющих линейно-функциональную или дивизиональную структуру, большое значение имеют задачи планирования и управление запасами. Для предприятий с матричной структурой важную роль играют задачи управления проектами и рисками. Для предприятий с любой структурой, выпускающих наукоемкие изделия, требуется оперативное решение задач управления конфигурацией.

На основе концептуальной модели конкретизируются цели и задачи развития и обеспечения конкурентоспособности организационных структур различных уровней – промышленных предприятий, регионов, отраслей и т.д. КцМ необходима для широкого класса пользователей и, прежде всего:

- для руководителей областной администрации, руководства районов и служб в области;
- для разработчиков регионального информационно-аналитического центра (РИАЦ) и хранилищ данных (ХД) ведомственных систем;
- для экспертов, участвующих в обработке информации и выработке вариантов управленческих решений стратегических задач развития региона;
- для руководителей программ и проектов, выполняемых в социально-экономических сферах.

В настоящее время нет нормативных документов, определяющих структуру и форму представления КцМ. Как и любая модель, КцМ предназначена для решения определённого класса задач. В данном случае к таким задачам относится обеспечение информационными ресурсами широкого круга задач, связанных с устойчивым развитием региона (УРР). КцМ следует рассматривать как некоторое средство, позволяющее лицам, участвующим в подготовке и принятии решений, оперативно использовать данные и связи между ними, содержащиеся в едином информационном пространстве (ЕИП). Для разработчика РИАЦ КцМ может использоваться как средство проектирования базы данных (БД) и интеллектуального интерфейса «пользователь – БД», представления предметной области в БД.

В связи с этим КцМ регионального ЕИП должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) отражать все основные компоненты, необходимые для решения задач управления в экономической, социальной и природоохранной сферах, определяющих УРР;
- 2) охватывать все разновидности знаний о регионе, включать объекты и процессы (сущности и отношения), участвующие в задачах УРР;
- 3) обладать высокими семантическими возможностями описания протекающих в регионе процессов социального, экономического и экологического характера; в модели должна быть предусмотрена возможность описания лингвистических знаний и их связей с основными (базовыми) компонентами;
- 4) обладать машинной реализуемостью в виде интеллектуального интерфейса «пользователь – БД», который должен обеспечивать понятность и удобство для пользователей;
- 5) позволять производить качественную и количественную оценку ситуации (идентифицировать значение переменной состояния функционирования);
- 6) обеспечивать на основе накопленной информации решение задач прогнозирования ситуаций и показателей УРР;
- 7) использовать знания, получаемые от экспертов;
- 8) иметь эффективные средства манипулирования элементами КцМ;
- 9) обладать свойствами расширяемости и адаптируемости в процессе функционирования региона, отражаемости в типовые СУБД;
- 10) отражать выполняемые программы и проекты, имеющиеся для этого ресурсы.

Дополнительно как программный продукт КцМ должна также отвечать следующим требованиям:

- интерактивности, т.е. должна быть предусмотрена навигация по всем разделам модели;
- лёгкости (простоте) освоения, т.е. не требовать специальных знаний для работы с ней;
- правильности, т.е. не содержать ошибочных данных и алгоритмов;
- актуальности и оперативности, т.е. отражать все последние изменения в регионе и внешнем окружении;
- легитимности, т.е. полностью заменить данные, содержащиеся на бумажных носителях, высказанных экспертами и т.п.

## 2.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Необходимым инструментом совершенствования производственных систем и технологических процессов является функциональное моделирование бизнес-процессов.

Под бизнес-процессом понимается совокупность взаимосвязанных ресурсов и деятельности, которые преобразуют вход процесса (материалы, финансы, энергия, информация) в соответствующий выход. Основная цель процесса – добавление ценности продукта при минимальных затратах.

Следует заметить, что общепринятого определения термина «бизнес-процесс» пока нет. Предполагается, что бизнес-процессы одного подразделения объединены общей задачей, заключающейся в оказании услуг, например, в виде изготовления и поставки продукта. При этом оказание услуг осуществляется согласно единой процедуре [57].

Функциональная модель бизнес-процессов представляет собой многоуровневую систему взаимосвязанных диаграмм, содержащую полное описание процессов жизненного цикла продукта, с выделением узлов действий (блоков), входов, выходов, управлений (условий) и требуемых механизмов (ресурсов). Каждый узел характеризует действие (про-

цесс, работу, функцию, операцию) по переработке информационных или материальных ресурсов и обозначается прямоугольником

(рис. 2.5). Вход представляет собой то, что перерабатывается процессом (стрелка слева прямоугольника), а выход – результат переработки (стрелка справа). Управлением служит информация, необходимая для выполнения процесса (стрелка сверху). Механизмы обеспечивают выполнение (реализацию) процесса, т.е. оборудование, персонал и т.д. (стрелка снизу).

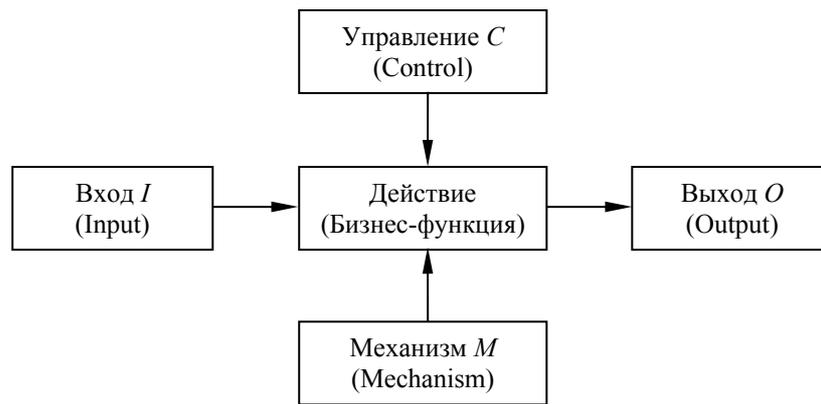


Рис. 2.5. Схема узла функциональной модели

Построение и вид функциональной модели бизнес-процессов регламентируются на международном уровне федеральными рекомендациями США FIPS PUB 183 и стандартом IDEF0 – Integrated Definition for Process Modeling, первоначально разработанным ВВС США. В них описываются метод (язык), правила и методика структурированного графического описания бизнес-процессов.

Разработка любой сложной, в том числе программной, системы должна начинаться с функционального анализа и моделирования системы в целом и всех её подсистем вплоть до неделимых элементов. Для этой цели разработана методология IDEF0, представляющая собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной структуры сложных иерархических систем.

Основной принцип, заложенный в функциональное моделирование систем, состоит в их пошаговой нисходящей декомпозиции до уровня, необходимого для моделирования. При этом на всех уровнях используются функциональные блоки, принадлежащие к одному и тому же классу, который можно назвать «объект-функция». В экспертном программировании в качестве суперкласса используется объект-функция IDEF0.

Если обозначить  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  – вектор входных переменных;  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  – вектор выходных переменных;  $F$  – вектор-функцию, реализуемую механизмом, то мы получим выражение объект-функции, эквивалентное традиционному математическому:

$$Y = F(X).$$

Однако, в отличие от математических функций, допускающих использование в качестве переменных только числовые величины, в объект-функциях могут использоваться как числовые, так и нечисловые переменные.

Все стрелки в диаграммах IDEF0 имеют метку, т.е. стрелочную надпись, в качестве которой могут использоваться либо идентификаторы, либо наименования переменных.

При построении диаграмм в IDEF0 функциональные блоки соединяются с помощью стрелок, идущих от выхода одного блока к входу и (или) управлению другого. Такая диаграмма, с точки зрения искусственного интеллекта, представляет собой семантическую сеть, т.е. граф с помеченными с помощью идентификаторов или наименований вершинами (объект-функциями) и ребрами. С математической точки зрения, диаграмма эквивалентна сложной функции:

$$Y = \Phi(F_1(X_1), F_2(X_2), \dots, F_k(X_k)).$$

При построении функциональной модели используется метод декомпозиции, т.е. сначала описывается общее действие получения продукта (нулевой уровень), затем общее действие раскладывается на несколько основных крупных действий (первый уровень), далее каждое крупное действие описывается с помощью более мелких операций (второй уровень) и т.д. Соответственно раскладываются управления и механизмы при переходе от крупных структур к более мелким.

Важной особенностью функционального моделирования бизнес-процессов является то, что описание строится вокруг действий, а не вокруг организационной структуры. Функциональная модель показывает непосредственных участников бизнес-процессов, элементы оргструктуры предприятия, задействованные в получении продукции, работы, выполняемые различными подразделениями и оборудованием.

Построение функциональной модели рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- идентификация основных видов деятельности, представление их в форме иерархической структуры;
- описание входных элементов каждого процесса ( $I_1, I_2, \dots$ );
- описание преобразования входов под воздействием процесса в выходные элементы ( $O_1, O_2, \dots$ );
- описание элементов управления ( $C_1, C_2, \dots$ ), в качестве которых могут быть инструкции, руководства, расписания, графики, стандарты и т.п.;
- описание механизмов или ресурсов ( $M_1, M_2, \dots$ ), используемых для реализации бизнес-процессов.

Информационные структуры и данные, используемые в функциональной модели, описываются и графически изображаются с помощью информационной модели. Информационная модель отражает структуру баз данных и информаци-

онные потоки с позиций семантики, т.е. описания данных в контексте их взаимосвязи с другими данными. Конструктивными элементами этой модели являются сущности, изображаемые блоками, отношения между сущностями, которые обозначаются линиями, соединяющими блоки, и атрибуты (имена внутри блоков).

Построение информационной модели регламентируется стандартом IDEF/1X (FIPS 184) – Integrated Definition for Information Modeling.

## 2.5. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

Любой проект представляет собой последовательность взаимосвязанных операций (решаемых задач), направленных на достижение конкретного значительного результата, например, создание нового продукта, выполнение работ по реинжинирингу и т.п.

Особенностями высокотехнологичных проектов являются: наличие неопределённости и рисков, высокая стоимость (большие затраты), многоэтапность и значительное время выполнения работ, командный состав исполнителей, невозможность гарантированного получения ожидаемого результата, необходимость использования компьютерных технологий и методов параллельного проектирования. Большинство проектов выполняется в условиях конкурса (тендера), в этом случае успех достигается, если результат проектирования имеет ценность выше, чем у конкурентов, и он появляется «в нужное время в нужном месте».

Проект, рассматриваемый как процесс, имеет жизненный цикл (ЖЦ). Основными этапами (фазами) жизненного цикла проекта являются: мотивация формирования концепции, проведение научно-исследовательских работ (планирование создания продукта), проектирование, производство (изготовление), внедрение (инсталляция) и завершение (закрытие). Результаты работ одного этапа используются для выполнения последующего. После завершения каждой фазы проекта принимаются ключевые решения.

Управление проектом охватывает процедуры контроля, планирования, распределения и регулирования ресурсов (трудовых, материальных, оборудования) с учётом различных ограничений (технических, бюджетных и временных) на всех этапах жизненного цикла проекта. Наиболее ответственной процедурой является принятие ключевых проектных решений при формулировке целей, формировании команды, утверждении пакета работ, рассмотрении целесообразности продолжения работ и др.

В общем случае задача управления проектом формулируется следующим образом.

Задаются:

- информация, относящаяся к инициации (мотивации) начала работ по проекту;
- ограничения на процесс проектирования (временные, материальные и др.);
- основные требования к предмету (объекту) проектирования;
- имеющиеся ресурсы для выполнения проекта.

Требуется:

- выбрать методологию (стандарт) выполнения проекта;
- сформировать команду исполнителей;
- последовательно выполнить этапы проектирования, решая на каждом этапе задачи по обеспечению максимума вероятности получения успешного конечного результата, или своевременно прекратить работы во избежание излишних затрат.

На выбор методологии и стратегии управления проектом оказывают влияние вид объекта и цели выполнения проекта, характер неопределённости и рисков, возможность использования информационных технологий и параллельного проектирования.

Важнейшими компонентами, которые должны постоянно учитываться на всех этапах ЖЦ проекта, являются риск и затраты.

Под риском проекта обычно понимается вероятность того, что цели проекта не будут достигнуты и его выполнение не принесёт ожидаемых результатов. Риск зависит от большого числа факторов, обусловленных недостаточной информацией или случайной природой явлений, от которых зависит успех проекта. К этим факторам относятся нестабильность экономической и политической ситуации, действия конкурентов, не абсолютная надёжность производства, ошибки персонала и т.д. Затраты на проект учитывают все виды деятельности и используемые ресурсы в денежной оценке, они могут быть определены методом функционально-стоимостного анализа.

В зависимости от особенностей проекта и ситуации на предприятии возможны следующие основные задачи проектирования:

- 1) задача минимизации риска при ограничении на затраты;
- 2) задача минимизации затрат при ограничении на величину риска;
- 3) задача на удовлетворение ограничений по затратам и риску.

При оценке рисков рекомендуется:

- больше доверять конкретным фактам, а не абстрактным идеям;
- выражать факты в количественной форме, связанной с применением конкретных процедур измерения, а не с помощью слов и эмоций;
- осознавать, что наблюдения всегда ведутся над частью целого и поэтому результаты содержат ошибки и отклонения;
- только в результате многочисленных наблюдений можно выявить устойчивую тенденцию, представляющую собой надёжную информацию.

Как риск проекта, так и затраты на проектирование зависят от числа рассматриваемых альтернативных вариантов на стадиях ЖЦ проекта. При этом основным способом снижения риска является увеличение числа вариантов, однако затраты в данном случае возрастают.

Поэтому для управления проектами необходимо использовать модели процесса проектирования, учитывающие число вариантов на каждом этапе ЖЦ.

Модели затрат и риска проекта рассмотрим при следующих предположениях:

- ЖЦ проекта включает предпроектную стадию и  $s$  стадий проектирования;
- число и состав рассматриваемых вариантов на  $i$ -й и  $j$ -й стадиях могут различаться, т.е.  $V_i \stackrel{\Delta}{=} V_j$ ,  $i, j = \overline{1, s}$ ,  $i \neq j$ ;
- общие затраты на проект могут рассматриваться как сумма затрат на отдельных стадиях ЖЦ;
- риск проекта оценивается по формулам умножения вероятностей сложных событий.

Если на  $j$ -м этапе разрабатывается множество альтернативных вариантов  $V_j$ , то общие затраты на выполнение проекта  $z_{\Pi}$  равны

$$z_{\Pi} = z_0 + \sum_{j=1}^s \sum_{v_i \in V_j} z_j(v_i) + \sum_{j=0}^s z_j^3, \quad (2.26)$$

где  $z_0$  – затраты на выполнение предпроектной стадии;  $z_j(v_i)$  – затраты на выполнение работ по варианту  $v_i$  на  $j$ -й стадии;  $z_j^3$  – затраты на проведение сеанса экспертизы при завершении  $j$ -го этапа.

В случае, когда затраты на все варианты  $j$ -го этапа одинаковы, формула (2.26) принимает вид

$$z_{\Sigma} = z_0 + z_0^3 + \sum_{j=1}^s (\omega_j z_j + z_j^3), \quad (2.27)$$

где  $\omega_j$  – число вариантов, рассматриваемых на  $j$ -м этапе.

В общем составляющие затрат  $z_j^3$ ,  $j = \overline{1, s}$  зависят от числа вариантов  $\omega_j$ .

В предположении, что события, заключающиеся в успешном выполнении работ по вариантам и стадиям, являются независимыми, для определения риска проекта  $Q_{\Pi}$  может быть использована следующая формула

$$Q_{\Pi} = 1 - (1 - q_0) \prod_{j=1}^s \left( 1 - \prod_{i \in V_j} q_j(v_i) \right), \quad (2.28)$$

где  $q_0$  – риск для предпроектной стадии;  $q_j(v_i)$  – риск варианта  $v_i$  на  $j$ -й стадии.

Если риски на  $j$ -й стадии одинаковы для всех вариантов  $v_i \in V_j$ , то

$$Q_{\Pi} = 1 - (1 - q_0) \prod_{j=1}^s (1 - q_j^{\omega_j}). \quad (2.29)$$

Формулы (2.26), (2.28) составляют основу модели процесса проектирования, учитывающей различные варианты на этапах ЖЦ проекта. Из этих формул видно, что с увеличением числа рассматриваемых вариантов затраты  $z_{\Pi}$  увеличиваются пропорционально числу вариантов. Зависимость  $Q_{\Pi}$  от  $\omega_j$  более сложная, с ростом числа вариантов риск проекта уменьшается по зависимости, близкой к гиперболической.

### 3. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Успех управленческой деятельности в значительной степени зависит от того, насколько быстро и качественно происходит процесс принятия решений, который достаточно часто осуществляется в условиях неопределённости. В связи с этим рассмотрим ряд современных методов, применяемых для выработки управленческих решений в условиях неопределённости.

#### 3.1. МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ АЛЬТЕРНАТИВНОСТИ

Основная идея принципа динамической вариантности (альтернативности) заключается в следующем. На первом этапе проектирования формируется множество (группа) альтернативных вариантов, которые начинают разрабатываться параллельно. После каждого этапа производится сеанс экспертизы и принимается решение о приоритетности вариантов и составе группы.

В целом процесс проектирования можно описать функциональной моделью в формате IDEF0, дополненной узлами принятия решений.

Основу функциональной модели описания процессов на различных стадиях проектирования с использованием принципа динамической вариантности (ДВ) составляют узлы из двух блоков – блока действия (Д) и блока принятия ре-

шения (ПР) или сеанса экспертизы, а также входы ( $I$ ), выходы ( $O$ ), управления ( $C$ ), механизмы или ресурсы ( $M$ ), критерий и метод ( $Q$ ), эксперты ( $S$ ) и результаты решения ( $R$ ). Схема одного узла модели приведена на рис. 3.1.

Принцип динамической вариантности (ДВ) базируется на следующих предпосылках:

- 1) на каждой фазе выполнения проекта рассматривается несколько альтернативных вариантов;
- 2) состав группы альтернативных вариантов после завершения очередной фазы может изменяться;

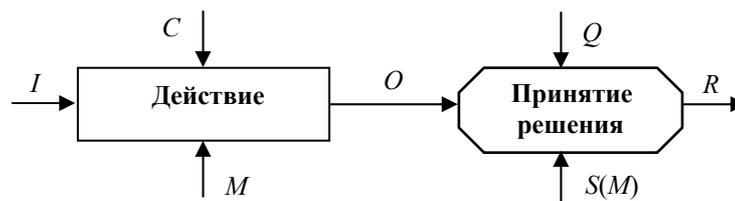


Рис. 3.1. Схема узла модели принятия решения

3) в качестве основного критерия при сравнении вариантов рассматривается вероятность достижения успеха (получения желаемого результата);

4) для каждой фазы ЖЦ характерны свои признаки генерации вариантов, например, способы действия объекта, техническое исполнение, учёт возможных состояний функционирования и т.д.;

5) исключение «неперспективных» вариантов производится условно, в случае необходимости к ним можно возвращаться и продолжить их разработку;

6) исходные данные задачи проектирования по мере поступления новой информации в ходе жизненного цикла проекта корректируются, и часть расчётов пересматривается (по принципу обратной связи).

При проведении сеансов экспертизы необходимо учитывать, что наблюдения ведутся лишь над частью целого, поэтому результаты содержат ошибки и отклонения; следует больше доверять конкретным фактам, а не абстрактным идеям; стремиться выражать факты в количественной форме, связанной с применением конкретных процедур измерения, а не с помощью слов и эмоций; устойчивые тенденции можно выявить только в результате многочисленных наблюдений, опирающихся на надёжную информацию.

Данные предпосылки соответствуют многим рекомендациям для выполнения ответственных проектов, например: «все подвергай сомнению», «опора на факты», «оптимальное решение на каждом шаге не гарантирует общего оптимального результата», «рассматриваемое число вариантов ограничено возможностями (ресурсами) предприятия», «окончательный результат в ходе проектирования неизвестен».

Повышение вероятности успеха проектирования при использовании принципа ДВ достигается за счёт следующих факторов:

- непосредственное рассмотрение нескольких вариантов;
- возможность изменения состава группы альтернативных вариантов по результатам выполнения отдельных этапов;
- анализ вариантов и принятие решения после каждого этапа;
- использование информации, поступающей в ходе проектирования, например, о характеристиках проектируемого продукта у возможных конкурентов;
- пересмотр ранее принятых решений на основе новой информации, существенной для проекта;
- применение нескольких критериев при сопоставлении вариантов.

Рассматриваемый метод учитывает два аспекта динамики выполнения проекта. Во-первых, на каждой стадии может изменяться число и состав альтернативных вариантов. Во-вторых, на протяжении времени проектирования (оно может составлять несколько месяцев и даже лет) могут изменяться различного рода параметры, относящиеся к постановке задачи и формулировке целей в связи с поступлением информации из внешней среды, например, о значениях ключевых компонентов объекта проектирования, их важности и т.д.

Подробно данный метод рассматривается на примере в разд. 4.1.

### 3.2. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА И ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Применение современных пакетов, систем и технологий, например ERP, e-CRM, SCM, XML<sup>1</sup> и других, не снимает полностью неопределённость для лица, принимающего окончательное решение, от которого может зависеть успех фирмы или проекта. Для снижения вероятности ошибок при оперативном решении ответственных задач предлагается итерационный алгоритм, представляющий собой комбинацию метода экспертных оценок и байесовского подхода [57, 99].

Пусть требуется из множества  $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  вариантов решений, показатели эффективности которых примерно одинаковы, выбрать наиболее целесообразный  $v^*$  для реализации.

Обработка результатов работы «узкой» группы экспертов показала, что их мнения не могут быть признаны согласованными (коэффициент конкордации низок) и среди рассматриваемых вариантов нет выделяющегося «лидера».

Идея алгоритма заключается в последовательном привлечении дополнительных экспертов и подсчёте для каждого проекта  $v \in \mathcal{V}$  средней апостериорной вероятности того, что этот проект является оптимальным. Работа продолжается до тех пор, пока средняя апостериорная вероятность одного из проектов  $v_a$  множества  $\mathcal{V}$  не будет существенно выше, чем

<sup>1</sup> ERP – Enterprise Resource Planning (планирование ресурсов предприятий), e-CRM – electronic Customer Relationship Management (электронное управление взаимоотношениями с клиентами), SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок), XML – eXtensible Markup Language (технология для бизнес приложений).

для альтернативных проектов. При соблюдении некоторых условий на возможные исходы последующих экспертиз данный проект  $v_a$  считается оптимальным.

Результат работы каждого дополнительно привлекаемого эксперта рассматривается как исход проведённого опыта, и расчёт апостериорной вероятности производится по формуле Байеса, т.е.

$$P(H_i / A_{(j)}) = \frac{P(A_{(j)} / H_i)P(H_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_{(j)} / H_i)P(H_i)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.1)$$

где  $H_i$  – предположение (гипотеза) о том, что вариант  $v_i$  является оптимальным;  $A_{(j)}$  – результат экспертизы (событие) об оптимальности варианта  $v_j$ ;  $n$  – число рассматриваемых вариантов (мощность множества  $V$ );  $P(H_i)$ ,  $P(H_i / A_{(j)})$  – априорная и апостериорная вероятности гипотезы  $H_i$ , соответственно;  $P(A_{(j)} / H_i)$  – вероятность события  $A_{(j)}$ , если имеет место гипотеза  $H_i$  (правдоподобие).

Будем полагать, что событие  $A_{(j)}$  произошло, если вариант  $v_j$  очередной эксперт расположил на 1-м месте при  $n = 2 \dots 3$ , и на 1-м или 2-м месте при  $n > 3$ .

Если произошло событие  $\bar{A}_{(j)}$ , то апостериорная вероятность  $P(H_i / \bar{A}_{(j)})$  рассчитывается по формуле, аналогичной (3.1), т.е.

$$P(H_i / \bar{A}_{(j)}) = \frac{P(\bar{A}_{(j)} / H_i)P(H_i)}{\sum_{i=1}^n P(\bar{A}_{(j)} / H_i)P(H_i)}, \quad (3.2)$$

где  $P(H_i / \bar{A}_{(j)})$  – апостериорная вероятность гипотезы  $H_i$  при событии  $\bar{A}_{(j)}$ .

По результатам работы очередного  $k$ -го эксперта рассчитываются усреднённые апостериорные вероятности по формуле

$$\bar{P}_k(H_i / \mathcal{A}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P(H_i^k / \tilde{A}_{(j)}), \quad i, j = \overline{1, n}; \quad (3.3)$$

$$\mathcal{A} = \{\tilde{A}_{(j)}, j = \overline{1, n}\},$$

где  $\tilde{A}_{(j)}$  – событие, связанное с проверкой гипотезы  $H_j^k$ , т.е. того, что  $k$ -й эксперт вариант  $v_j$  поставит на первые места, для части слагаемых суммы имеет место  $A_{(j)}$ , для другой –  $\bar{A}_{(j)}$ .

Вероятности  $P(H_i)$ ,  $P(H_i / A_{(j)})$ ,  $P(H_i / \bar{A}_{(j)})$ ,  $\bar{P}_k(H_i / \mathcal{A})$ , естественно, удовлетворяют условию полноты группы событий, т.е.

$$\sum_{i=1}^n P(H_i) = 1, \quad \sum_{i=1}^n P(H_i / A_{(j)}) = 1, \quad \sum_{i=1}^n P(H_i / \bar{A}_{(j)}) = 1, \quad \sum_{i=1}^n \bar{P}_k(H_i / \mathcal{A}) = 1, \\ P(A_{(j)} / H_i) + P(\bar{A}_{(j)} / H_i) = 1, \quad i, j = \overline{1, n}.$$

В качестве оптимального варианта  $v^*$  после  $k$ -й экспертизы берётся тот, для которого вероятность, рассчитанная по формуле (3.3), максимальна и выполняется условие, что некоторое наперёд заданное число  $m$  последующих экспертиз не изменяет соотношения

$$\bar{P}_{k+m}(H(v^*) / \mathcal{A}) = \max_{v_i \in V} \{\bar{P}_{k+m}(H(v_i) / \mathcal{A})\}, \quad (3.4)$$

где  $H(v^*)$  – гипотеза об оптимальности варианта  $v^*$ ,  $H(v_i) = H_i$ .

При использовании байесовского подхода для решения подобных задач важную роль играет формализация правила «остановки» в процессе проведения экспертиз. С одной стороны, своевременное прекращение итераций экономит средства, затрачиваемые на проведение экспертиз. С другой стороны, необходима уверенность, что дальнейшее привлечение экспертов не приведёт к кардинальному изменению усреднённой апостериорной вероятности и принятию другого варианта для реализации.

Наиболее естественно решение об «остановке» принимать по двум показателям: числе  $m$  дополнительных экспертов, высказывания которых могут изменить выбор оптимального варианта, и вероятности  $P_m$  того, что результаты высказываний этих экспертов приведут к изменению варианта, т.е. гипотезы, для которой усреднённая апостериорная вероятность максимальна.

Определение показателей  $m$  и  $P_m$  произведём при следующих допущениях:

1) в множестве  $V$  можно выделить два лидирующих варианта  $v_a$  и  $v_b$ ;

2) проведена обработка мнений  $k$  экспертов, при этом варианту  $\upsilon_a$  отдавалось предпочтение (исход  $A$ )  $k_a$  раз ( $k_a \leq k$ ) и варианту  $\upsilon_b$  (исход  $B$ ) –  $k_b$  раз ( $k_b < k_a$ ), т.е. по результатам  $k$  итераций вариант  $k_a$  считается предпочтительным (вероятность  $\bar{P}_k(H(\upsilon_a)/\mathcal{A})$  – максимальна);

3) в качестве вероятностей исходов  $A$  и  $B$  принимаются оценки

$$P_{(a)} = \frac{k_a}{k}; \quad P_{(b)} = \frac{k_b}{k}, \quad (3.5)$$

причем вероятность  $P_{(a)} > 0,5$ ;

4) исходы  $A$  и  $B$  при последующих высказываниях экспертов являются независимыми и совместимыми;

5) очерёдность исходов в  $m$  экспертизах не влияет на конечный результат.

При данных допущениях имеет место следующая лемма.

*Лемма 1.* Если

$$\bar{P}_k(H(\upsilon_a)/\mathcal{A}) > \bar{P}_k(H(\upsilon_b)/\mathcal{A}) \quad \text{и} \quad k_a > k_b,$$

то соотношение

$$\bar{P}_{k+m}(H(\upsilon_a)/\mathcal{A}) < \bar{P}_{k+m}(H(\upsilon_b)/\mathcal{A}) \quad (3.6)$$

становится возможным при

$$m \geq (k_a - k_b) + 1. \quad (3.7)$$

Доказательство леммы непосредственно следует из формулы Байеса (3.1) и принятых допущений.

Для определения вероятности  $P_m(b)$ , характеризующей возможность неравенства (3.6), используем комбинацию моделей Бернулли для повторяющихся испытаний.

*Лемма 2.* Если имеет место  $\bar{P}_k(H(\upsilon_a)/\mathcal{A}) > \bar{P}_k(H(\upsilon_b)/\mathcal{A})$ ,  $k_a > k_b$  и  $m \geq 2$ , то вероятность выполнения неравенства (3.6) при минимальном значении  $m$  определяется формулой

$$P_m(b) = (1 - P_a)^m P_b^m. \quad (3.8)$$

Равенство (3.8) означает, что все  $m$  привлекаемых дополнительно экспертов выскажутся отрицательно относительно варианта  $\upsilon_a$  (исходы  $\bar{A}$ ) и положительно относительно  $\upsilon_b$  (исходы  $B$ ). Формула (3.8) непосредственно следует из распределения вероятностей возможных сложных событий при  $m$  испытаниях, в которых события  $A$  и  $B$  могут принимать по два исхода с разными вероятностями. Такое распределение при использовании моделей Бернулли для событий  $A$  и  $B$  имеет следующий вид:

$$P_m(b) = \left( \sum_{v=0}^m C_m^v P_a^v (1 - P_a)^{m-v} \right) \left( \sum_{v=0}^m C_m^v P_b^v (1 - P_b)^v \right), \quad (3.9)$$

где  $C_m^v = \frac{m!}{v!(m-v)!}$ ,  $C_m^m = 1$ ,  $C_m^0 = 1$ .

Следует заметить, что вероятности  $P_a$ ,  $P_b$  (см. (3.5)) необходимо корректировать после каждой итерации.

В качестве заключения по данному разделу следует отметить следующее.

1. Использование метода экспертных оценок совместно с байесовским подходом позволяет формализовать задачу определения числа привлекаемых экспертов.

2. Расчёт средних апостериорных вероятностей даёт возможность принимать обоснованные решения относительно группы предпочтительных вариантов, когда мнения экспертов относительно всего множества вариантов считаются несогласованными.

3. Расчёт апостериорных вероятностей на каждой итерации и прогнозирование вероятностей  $P_m(b)$  позволяют исключить из рассмотрения заведомо неперспективные варианты.

4. Предложенный алгоритм удобен для оперативного принятия решений при работе с экспертами в режиме удалённого доступа (через Internet), когда ответы экспертов поступают не одновременно.

### 3.3. МЕТОД ШОРТЛИФА БЬЮКЕНЕНА

Использование формулы Байеса требует знаний априорных и условных вероятностей, для оценки которых необходимы статистические данные. При этом встречаются следующие трудности: большая трудоёмкость получения представительной выборки, особенно в случае многомерных распределений; необходимость принятия решений в условиях редко повторяющихся ситуаций, наблюдение за которыми требует длительного времени; изменение характера распределений и взаимосвязи между данными и ситуациями со временем, особенно для экономических показателей развивающихся предприятий и др. Стенфордская теория фактора уверенности или модель (метод) Шортлифа и Бьюкенена (МШБ) позволяет делать оперативные выводы на основе неполных знаний. Для этого вместо сбора представительной выборки собираются и обрабатываются мнения экспертов и ЛПР, которые затем интерпретируются в вероятностном смысле.

Преимущество МШБ по сравнению с системой условных вероятностей, применяемых при байесовском подходе, заключается в следующем [89]:

- возможно использование фундаментальных знаний и теоретических закономерностей;

- возможно применение опытного знания для рассмотрения малых групп экономических объектов, имеющих разные классы проблемных ситуаций, для которых нет достаточного статистического материала;
  - лёгкость модификации алгоритма решения, так как продукционные правила не связаны эксплицитно одно с другим и нет необходимости строить заранее структурированное дерево решений;
  - изменение правил и добавление новых не требуют анализа сложных взаимосвязей с другими частями системы исходных данных и промежуточных результатов;
  - облегчается поиск потенциальных конфликтов и несовместимостей в базе знаний;
  - используются простые механизмы объяснений вычислительного процесса;
  - можно информировать пользователей только о той части процесса решения, которая ему необходима.
- Важную роль в МШБ играют понятия меры уверенности и меры неуверенности.

• Мера (measure) уверенности или доверия (believe) MB в соответствии с равенством  $MB[h, x]=\alpha$  означает, что степень или мера уверенности в некоторой гипотезе  $h$ , основанная на свидетельстве  $x$ , есть  $\alpha$ . Гипотеза  $h$  может заключаться в предпочтительности одного из альтернативных вариантов  $v$  проектного решения.

MB рассматривается не как формальная оценка, которую эксперт (или ЛПР) добавляет к заключениям типа «вероятно, это так», «почти наверняка, это так» и т.п.

• Мера неуверенности или недоверия (distrust) MD или  $MD[h, x]=\beta$  означает, что степень или мера неуверенности в  $h$ , основанная на свидетельстве  $x$ , есть  $\beta$ .

Стенфордская теория фактора уверенности основывается на следующих предположениях. Во-первых, в методах, использующих классические положения теории вероятности, при оценке экспертом истинности некоторого отношения (например, значением 0,8) не учитывается, что отношение может быть и ложным. Здесь правило равенства единице суммы вероятностей отношения и его отрицания не распространяется на все ситуации.

Во-вторых, во многих случаях при абдуктивном выводе «знание самих правил немного важнее, чем знание алгебры для вычисления их достоверности».

«Абдукция является необоснованным правилом вывода, означающим, что заключение необязательно истинно для каждой интерпретации, при которой истинны предпосылки».

Значения MB и MD, как и для вероятности, всегда должны находиться в интервале  $[0, 1]$ . Свидетельства могут быть не только наблюдаемыми, но и гипотезами. Например,  $MB[h_1, h_2]$  есть мера увеличения уверенности в гипотезе  $h_1$  при условии, что гипотеза  $h_2$  является истинной.

Одно и то же свидетельство  $x$  не может выступать как в пользу, так и против гипотезы, т.е.

$$\text{если } MB[h, x] > 0, \text{ то } MD[h, x] = 0; \quad (3.10)$$

$$\text{если } MD[h, x] > 0, \text{ то } MB[h, x] = 0. \quad (3.11)$$

Если гипотеза  $h$  не зависит от свидетельства  $x$ , т.е. условная вероятность  $P(h/x)$  равна априорной вероятности  $P(h)$ , то

$$MB[h, x] = MD[h, x]. \quad (3.12)$$

Определение MB и MD производится с использованием соотношений:

$$MB[h, x] = \begin{cases} 1, & \text{если } p(h)=1; \\ \frac{\max\{p(h/x), p(h)\} - p(h)}{1 - p(h)}, & \text{если } p(h) < 1; \end{cases} \quad (3.13)$$

$$MD[h, x] = \begin{cases} 1, & \text{если } p(h)=0; \\ \frac{\min\{p(h/x), p(h)\} - p(h)}{-p(h)}, & \text{если } p(h) > 0, \end{cases} \quad (3.14)$$

где  $p(h)$  – априорная вероятность гипотезы  $h$ ;  $p(h/x)$  – условная вероятность  $h$  при свидетельстве  $x$ .

Вероятность  $p(h)$  отражает уверенность эксперта в истинности гипотезы  $h$  в любой момент времени, а  $1-p(h)$  – оценка неуверенности эксперта в истинности  $h$ . Если  $p(h/x) > p(h)$ , то  $x$  увеличивает уверенность эксперта в  $h$ . Если  $p(h/x) < p(h)$ , то  $x$  уменьшает уверенность в  $h$  (и увеличивает неуверенность в истинности  $h$ ).

Для расчёта MB и MD допускается использование упрощённых формул:

$$MB[h, x] = \frac{p(h/x) - p(h)}{p(h)}, \quad \text{если } p(h/x) > p(h); \quad (3.15)$$

$$MD[h, x] = \frac{p(h) - p(h/x)}{p(h)}, \quad \text{если } p(h/x) < p(h). \quad (3.16)$$

Наряду с MB и MD в МШБ используется также коэффициент или фактор уверенности CF (certainty factor), вычисляемый по формуле

$$CF[h, x] = MB[h, x] - MD[h, x], \quad CF[h, x] \in [-1; 1] \quad (3.17)$$

или

$$CF[h, x] = \begin{cases} \frac{p(h/x) - p(h)}{1 - P(h)}, & \text{если } P(h/x) \geq P(h); \\ \frac{p(h/x) - p(h)}{p(h)}, & \text{если } p(h/x) < p(h), \end{cases} \quad (3.18)$$

$$(3.19)$$

при этом  $p(h) \neq 0; 1$ .

Например, гипотеза  $h$  – стабильная доходность предприятия региона. Априорная вероятность на основе статистических данных составляет  $p(h) = 0,6$  (для предприятия без указания его профиля). Пусть в качестве свидетельства  $x$  рассматривается, что предприятие производит электронную продукцию и  $p(h/x) = 0,8$ . В этом случае в соответствии с формулами (3.13), (3.14)

$$MB[h, x] = \frac{\max\{0,8; 0,6\} - 0,6}{1 - 0,6} = 0,5;$$

$$MD[h, x] = \frac{\min\{0,8; 0,6\} - 0,6}{-0,6} = 0;$$

$$CF[h, x] = 0,5 - 0 = 0,5.$$

Следует заметить, что при данном подходе

$$CF[h, x] + CF[\bar{h}, x] \neq 1, \quad (3.20)$$

здесь  $\bar{h}$  – отрицание  $h$ .

К основным свойствам мер MB и MD относятся:

1) если  $h$  – достоверная гипотеза, то

$$p(h/x) = 1, \quad MB[h, x] = 1, \quad MD[h, x] = 0, \quad CF[h, x] = 1; \quad (3.21)$$

2) если достоверна  $\bar{h}$  (отрицание  $h$ ), то

$$p(\bar{h}/x) = 1, \quad MB[h, x] = 0, \quad MD[h, x] = 1, \quad CF[h, x] = -1; \quad (3.22)$$

3) в случае недостатка свидетельств

$$MB[h, x] = 0, \quad MD[h, x] = 0, \quad CF[h, x] = 0, \quad (3.23)$$

т.е. здесь свидетельство  $x$  не подтверждает гипотезу  $h_0$  и не отвергает её.

В случае упорядоченного наблюдения двух свидетельств, сначала  $x_1$  и затем  $x_2$ , расчёт MB и MD производится по формулам:

$$MB[h, x_1 \wedge x_2] = \begin{cases} 0, & \text{если } MD[h, x_1 \wedge x_2] = 1; \\ MB[h, x_1] + MB[h, x_2](1 - MB[h, x_1]), & \\ \text{если } MD[h, x_1 \wedge x_2] \neq 1; \end{cases} \quad (3.24)$$

$$MD[h, x_1 \wedge x_2] = \begin{cases} 0, & \text{если } MB[h, x_1 \wedge x_2] = 1; \\ MD[h, x_1] + MD[h, x_2](1 - MD[h, x_1]), & \\ \text{если } MB[h, x_1 \wedge x_2] \neq 1; \end{cases} \quad (3.25)$$

$$CF[h, x] = \frac{p(h/x) - p(h)}{1 - p(h)}. \quad (3.26)$$

В случае двух гипотез  $h_1, h_2$  для расчётов можно использовать приближённые формулы:

$$MB[h_1 \wedge h_2, x] \approx \min\{MB[h_1, x], MB[h_2, x]\}; \quad (3.27)$$

$$MD[h_1 \vee h_2, x] \approx \min\{MD[h_1, x], MD[h_2, x]\}; \quad (3.28)$$

$$MB[h_1 \vee h_2, x] \approx \max\{MB[h_1, x], MB[h_2, x]\}; \quad (3.29)$$

$$MD[h_1 \wedge h_2, x] \approx \max\{MD[h_1, x], MD[h_2, x]\}. \quad (3.30)$$

Есть истинность или ложность части свидетельств  $x_1$  не известна с полной определённойностью, но известно значение CF, основанное на априорных данных  $x^1$  и оно отражает степень уверенности в  $x_1$ , тогда  $MB^1[h, x]$  и  $MD^1[h, x]$  рас-

смаатриваются, соответственно, как степени уверенности и неуверенности в  $h$ , когда известно, что  $x_1$  с полной определённостью является истинным. В этом случае имеет место

$$MB[h, x] = MB^1[h, x_1] = \max\{0, CF[x_1, x^1]\}; \quad (3.31)$$

$$MD[h, x] = MD^1[h, x_1] = \max\{0, CF[x_1, x^1]\}, \quad (3.32)$$

где  $MB^1(MD^1)$  – мера доверия (недоверия) в случае, если известно, что  $x_1$  истинно;  $x^1$  – все имеющиеся данные.

Метод Шортлифа-Бьюкенена, с одной стороны, позволяет оперативно принять решение при минимуме информации, с другой стороны, он не гарантирует от ошибочных решений. Основными источниками ошибок являются субъективность назначения исходных условных вероятностей  $p(v_j/x_i)$  и формулирование продукционных правил.

Вероятности  $p(v_j/x_i)$  определяются на основе высказываний экспертов, поэтому в общем случае в результате экспертизы имеет место массив вероятностей

$$P(v_j/x_i) = (p_1(v_j/x_i), p_2(v_j/x_i), \dots, p_l(v_j/x_i)),$$

здесь  $p_v(v_j/x_i)$  – доля уверенности принятия варианта  $v_j$  на основании данных  $x_i$  у  $v$ -го эксперта;  $l$  – число экспертов.

Массив  $P(v_j/x_i)$  характеризуется размахом  $R(v_j/x_i) = P_{\max}(v_j/x_i) - P_{\min}(v_j/x_i)$ , здесь  $P_{\max(\min)}(v_j/x_i)$  – максимальное (минимальное) значение доли уверенности в группе экспертов. В зависимости от величины  $R(v_j/x_i)$  можно выделить два случая – плотный и разреженный массивы.

Массив  $P(v_j/x_i)$  называется плотным, если  $R(v_j/x_i)$  не превышает допустимое значение  $r_{\text{доп}}$ , и массив  $P(v_j/x_i)$  считается разреженным (неплотным), если  $R(v_j/x_i) > r_{\text{доп}}$ .

Неплотный массив  $P_{\text{нп}}(v_j/x_i)$  называется равномерным, если наибольшая разность между проранжированными (соседними)  $p_v^p(v_j/x_i)$  не превышает  $r'_{\text{доп}} \approx r_{\text{доп}}$ , и массив  $P_{\text{нп}}(v_j/x_i)$  называется неравномерным, если эта разность превышает  $r'_{\text{доп}}$ .

В качестве центра массива  $P(v_j/x_i)$  при небольшом  $l$  целесообразно использовать медианное значение  $\tilde{p}(v_j/x_i)$ . Предпочтительный вариант решения, полученный при использовании  $\tilde{p}(v_j/x_i)$  по алгоритмам МШБ, обозначим  $\tilde{v}^*$ .

Вариант решения  $\tilde{v}^*$  будем называть абсолютно надёжным относительно исходных массивов  $\{P(v_j/x_i), j=1, m, i=1, n\}$ , если он сохраняется для всех возможных комбинаций  $p_v(v_j/x_i), j=1, m, i=1, n, v=1, l$ .

Это число комбинаций имеет порядок  $l^{m \times n}$ , проводить соответствующий объём вычислений практически не представляется возможным. Для сокращения вычислений можно воспользоваться следующим утверждением.

Если массивы  $P(v_j/x_i)$  заменить интервальными значениями  $[p_{\text{н}}(v_j/x_i), p_{\text{в}}(v_j/x_i)]$  и вариант  $\tilde{v}^*$  сохранить для всех возможных комбинаций границ интервалов, то вариант  $\tilde{v}^*$  абсолютно надёжен.

Число возможных комбинаций в данном случае сокращается до  $2^{m \times n}$ .

Для варианта  $\tilde{v}^* = v_{\mu}$  всегда можно выделить вектор граничных значений  $p_{\text{гр}}(v_j/x_i), i=1, n$ , который соответствует минимальной интегральной мере уверенности, а для альтернативных вариантов  $v_j \neq v_{\mu}^*$  можно выделить вектора  $p_{\text{гр}}(v_j/x_i), i=1, n, j \in \{1, \dots, m/\mu\}$ , которые соответствуют максимальным интегральным мерам уверенности, и если вариант  $\tilde{v}^* = v_{\mu}$  для выделенных векторов сохраняется как предпочтительный, то он характеризуется как абсолютно надёжный.

Если требования абсолютной надёжности не выполняются, то величина показателя надёжности  $\mathcal{N}$  оценивается с помощью вычислительных экспериментов следующим образом.

Последовательно для всех  $x_i, i=1, 2, \dots, n$  с использованием  $p_{\text{гр}}(v_j/x_i)$  и  $p_{\text{гр}}(v_j \neq x_i)$  рассчитываются интегрированные значения мер MB  $P_{\text{гр}}^i$  и MD  $P_{\text{гр}}^i$ . По результатам расчётов определяется число  $n(\tilde{v}^*)$ , при котором вариант  $\tilde{v}^*$  сохраняется предпочтительным, и показатель надёжности  $\mathcal{N}_1 = n(\tilde{v}^*)/n$ .

В случае необходимости (например,  $\mathcal{N}_1 = 1$  и требуется продолжить анализ) проводятся вычислительные эксперименты для всех пар свидетельств  $x_i, x_k$  и подсчитывается показатель  $\mathcal{N}_2 = n_2(\tilde{v}^*)/n_2$ , здесь  $n_2$  равно числу сочетаний из  $n$  по 2. Аналогично могут подсчитываться  $\mathcal{N}_3$  и т.д.

### 3.4. МЕТОД ДЕМПСТЕРА-ШАФЕРА

Для учёта достоверности используемой информации при выработке решений широкое применение находит метод Демпстера-Шафера [44].

Теорию Демпстера-Шафера (ТДШ) можно рассматривать как развитие байесовского подхода по уточнению апостериорных вероятностей по мере накопления данных на случаи, когда неизвестны законы распределения вероятностей ис-

следуемых переменных и параметров. При байесовском подходе требуется знание точных значений вероятностей, здесь отсутствию знаний соответствует равновероятность событий, т.е. как в случае полного незнания, так и случае равных вероятностей событиям  $A_i$  приписываются одни и те же значения  $p(A_i)$  [99]. Кроме того, для гипотезы (события)  $A$  всегда выполняется условие  $p(A)+p(\bar{A})=1$ . Используемые в ТДШ аксиомы слабее аксиом теории вероятностей, вместе с тем получаемые результаты обработки данных совпадают, если все вероятности, т.е. понимаемые в этом смысле показатели, точно известны. Во многих случаях свидетельства, частично подтверждающие гипотезу, не обязательно подтверждают её отрицание.

В основе ТДШ лежат две идеи: первая – возможность получения степени доверия для решаемой задачи из субъективных свидетельств о связанных с ней проблемах; вторая – использование правила объединения свидетельств, если они основаны на независимых высказываниях.

Для реализации этих идей используются следующие положения.

1. Воздействие свидетельств распространяется на степенное множество  $2^\theta$  множества базовых элементов (исходов)  $\{\theta\}$ , которые являются полной группой взаимоисключающих событий, называемой фреймом гипотез.

2. Функция вероятности приписывается каждому дизъюнктивному подмножеству  $A$  таким образом, чтобы сумма (полная вероятность) или мера доверия  $m(A)$  равнялась 1, а вероятность, приписываемая пустому множеству, есть 0, т.е.  $m(\emptyset)=0$ . Такое базовое приписывание вероятностей (БПВ) предполагает, что меры доверия заключены в интервале  $[0; 1]$ .

3. Уверенность в конкретных гипотезах  $A$  представлена как интервал  $[\text{Bel}(A), P^*(A)]$ , при этом для подмножеств  $B$  в  $A$  имеет место

$$\text{Bel}(A)=\sum_{B\subset A}m(B), \quad (3.33)$$

$$P^*(A)=1-\text{Bel}(\bar{A}), \quad (3.34)$$

здесь  $\text{Bel}(A)$  – вера (поддержка)  $A$ , т.е. мера полного количества веры в  $A$  и в его подмножества;  $P^*(A)$  – мера правдоподобия.

4. Свидетельства в виде подмножеств  $X$  и  $Y$  комбинируются по правилу (формуле) Демпстера:

$$m_1 \otimes m_2(A)=k \sum_{X \cap Y=A} m_1(X)m_2(Y), \quad m_1 \otimes m_2(\emptyset)=0, \quad A=\emptyset, \quad (3.35)$$

$$k=\frac{1}{1-\sum_{X \cap Y=\emptyset} m_1(X)m_2(Y)},$$

где  $k$  – константа нормализации.

Если  $k^{-1}=0$ , то ортогональная сумма (3.35) не существует, и меры  $m_1$  и  $m_2$  (БПВ) называют полностью взаимоисключающими.

Для двух свидетельств с  $m_1(A)$  и  $m_2(B)$ , где  $A$  – подмножество гипотез, которые поддерживаются первой группой свидетельств, и  $B$  – подмножество гипотез, которые поддерживаются второй группой показаний, новая вера в подмножество гипотез  $C$ , т.е.  $m_3(C)$ , которое поддерживается как первой, так и второй группой свидетельств, определяется как сумма произведений мер, приписанных подмножествам  $A$  и  $B$ , пересечение которых есть  $C$ , делённая на фактор нормализации, равный 1 минус сумма произведений мер подмножеств  $A$  и  $B$ , пересечение которых есть пустое множество, т.е.

$$m_3(C)=\frac{\sum_{A \cap B=C} m_1(A)m_2(B)}{1-\sum_{A \cap B=\emptyset} m_1(A)m_2(B)},$$

или в общем случае

$$m_n(Z)=\frac{\sum_{X \cap Y=Z} m_{n-2}(X)m_{n-1}(Y)}{1-\sum_{X \cap Y=\emptyset} m_{n-2}(X)m_{n-1}(Y)}, \quad (3.36)$$

здесь  $n$  – результирующее число источников свидетельств.

Таким образом, правилом допускается пустое пересечение  $X$  и  $Y$ , а сумма мер доверия должна быть нормализована.

Сопоставление ТДШ с байесовским подходом показывает следующее.

1. Подход Демпстера-Шафера является полезным инструментом, когда более строгие байесовские рассуждения себя не оправдывают.

2. При существовании мощных множеств гипотез и множества свидетельств вычисление мер доверия оказывается достаточно громоздким, однако количество рассуждений значительно меньше, чем при использовании байесовского подхода.

3. При объединении свидетельств  $m_j^{(A)}$  и  $m_{j+1}^{(B)}$  для получения  $m_{j+2}$  в результате пересечения двух пар множеств ( $A$  и  $B$ ) могут получаться пустые множества  $m_{j+2}(\emptyset)$ . Высокая достоверность пустого множества  $m_{j+2}(\emptyset)$  означает существование конфликта свидетельств на множестве мер доверия  $m$ .

4. Реально свидетельства поддерживают не все элементы  $\theta$  (множество взаимоисключающих гипотез). В основном поддерживаются различные подмножества  $Z \subset \theta$ . Так как элементы  $\theta$  предполагаются взаимоисключающими, то доказательство в пользу одного из них может оказывать влияние на доверие другим элементам. При байесовском подходе (приписывание меры доверия  $m$  различным  $Z \subset \theta$ ) пересчёт мер доверия и учёт того, что свидетельства поддерживают не все элементы  $\theta$ , производится за счёт рассмотрения всех комбинаций условных вероятностей. В системе Демпстера-Шафера эти взаимодействия учитывают напрямую путём непосредственного манипулирования множествами гипотез.

Серьёзным недостатком подхода Демпстера-Шафера является то, что правило объединения функций доверия (правило Демпстера) получено в предположении одинаковой достоверности разных источников свидетельств. В действительности информация, получаемая из разных источников, имеет разную степень достоверности. Это важное обстоятельство в формуле Демпстера не учитывается и может привести к неправильным решениям.

Получим модифицированную формулу Демпстера введением коэффициента  $C_{n-1}$  относительной достоверности информации, получаемой из последнего источника, т.е. для подмножества  $Y$ . Коэффициент  $C_{n-1} < 1$ , если достоверность гипотез  $y = \{y_1, \dots, y_m, \theta\}$  меньше достоверности  $x = \{x_1, \dots, x_k, \theta\}$ , и  $C_{n-1} > 1$  в противном случае.

Таким образом, модифицированная формула Демпстера имеет следующий вид

$$m_n(Z/C_{n-1}) = \frac{\sum_{X \cap Y = Z} m_{n-2}(X) m_{n-1}(Y/C_{n-1})}{1 - \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_{n-2}(X) m_{n-1}(Y/C_{n-1})}, \quad (3.37)$$

где  $m_{n-1}(Y/C_{n-1})$  – мера доверия  $m_{n-1}(Y)$  с учётом коэффициента достоверности  $C_{n-1}$ .

Основная задача при использовании формулы (3.37) заключается в том, чтобы от значений  $m_{n-1}(y_1), \dots, m_{n-1}(y_m), m_{n-1}(\theta)$ , коэффициент достоверности которых относительно  $m_{n-2}(x)$  равен  $C_{n-1}$ , перейти к значениям  $m_{n-1}(y_1/C_{n-1}), \dots, m_{n-1}(y_m/C_{n-1}), m_{n-1}(\theta/C_{n-1})$ , которые будут использованы в формуле Демпстера. При этом для рассматриваемых мер доверия должно выполняться условие нормировки, т.е.

$$m_{n-1}(\theta) + \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i) = m_{n-1}(\theta/C_{n-1}) + \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i/C_{n-1}) = 1.$$

Для пересчёта значений  $m_{n-1}(Y)$  в  $m_{n-1}(Y/C_{n-1})$  предлагается использовать следующие формулы:  
в случае  $C_{n-1} < 1$

$$m_{n-1}(y_i/C_{n-1}) = \frac{d m_{n-1}(y_i)}{d \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i) + m_{n-1}(\theta)}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (3.38)$$

$$m_{n-1}(\theta/C_{n-1}) = \frac{m_{n-1}(\theta)}{d \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i) + m_{n-1}(\theta)}; \quad (3.39)$$

в случае  $C_{n-1} > 1$

$$d = \frac{C_{n-1} m_{n-1}(\theta)}{1 - C_{n-1} \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i)}; \quad (3.40)$$

$$m_{n-1}(y_i/C_{n-1}) = \frac{m_{n-1}(y_i)}{\sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i) + d m_{n-1}(\theta)}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (3.41)$$

$$m_{n-1}(\theta/C_{n-1}) = \frac{d m_{n-1}(\theta)}{\sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i) + d m_{n-1}(\theta)}; \quad (3.42)$$

$$d = \frac{C_{n-1}^{-1} \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i)}{1 - C_{n-1}^{-1} m_{n-1}(\theta)}. \quad (3.43)$$

Рассчитанные по формулам (3.38) – (3.43) значения  $m_{n-1}(y_i/C_{n-1})$ ,  $i=\overline{1, m}$ ,  $m_{n-1}(\theta/C_{n-1})$  удовлетворяют условиям нормировки. Кроме того, можно показать, что при  $C_{n-1} < 1$  имеет место

$$\sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i/C_{n-1}) = C_{n-1} \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i)$$

и, следовательно,

$$m_{n-1}(\theta/C_{n-1}) = 1 - C_{n-1} \sum_{i=1}^m m_{n-1}(y_i).$$

Таким образом, методика применения модифицированной формулы Демпстера состоит в следующем.

1. При поступлении новых свидетельств с мерами  $m_{n-1}(y_i)$ ,  $i=\overline{1, m}$ , для них определяется коэффициент достоверности  $C_{n-1}$  по отношению к ранее используемым  $m_{n-2}(X)$ .
  2. Коэффициент  $C_{n-1}$  может оцениваться методом экспертных оценок или на основе сравнения точностных характеристик  $X$  и  $Y$ .
  3. С использованием коэффициента  $C_{n-1}$  значения  $m_{n-1}(y_i)$  пересчитываются в  $m_{n-1}(y_i/C_{n-1})$ .
  4. Полученные значения  $m_{n-1}(y_i/C_{n-1})$  подставляются в формулу Демпстера для расчёта  $m_n(Z)$ .
- Применение данной методики позволяет повысить достоверность выработки управленческих решений.

### 3.5. КОНКУРЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

Группа методов и моделей, используемых в принятии решений по обеспечению конкурентоспособности, позволяет выполнять всесторонний конкурентный анализ продукции и предприятия. К этим методам и моделям относятся SWOT-анализ, анализ конкурентных сил (схема «пяти сил»), цепочка ценностей, карта стратегических сил, метод анализа жизненного цикла спроса технологий, выделение ключевых факторов успеха, бенчмаркинг, координирующе-стабилизирующий подход и др.

Для оценки положительных и отрицательных факторов внешней и внутренней среды предприятия достаточно простым и удобным инструментом является SWOT-анализ. Аббревиатура SWOT происходит от следующих слов:

- Strengths – сильные стороны предприятия, т.е. то, что оно хорошо делает;
- Weaknesses – слабые стороны предприятия, которые ставят его в невыгодное положение;
- Opportunities – возможности или конкурентные преимущества, которые предприятие предполагает получить в ближайшем будущем;
- Threats – угрозы, которые представляют опасность для нормального функционирования предприятия.

Результаты SWOT-анализа оформляются в виде матрицы, структура которой приведена на рис. 3.2. Пример заполненной матрицы для малого предприятия, начинающего заниматься разработкой программных средств в области энергосбережения, представлен на рис. 3.3.

Анализ конкурентных сил (АКС) производится с целью выявления и изучения возможных конкурентов, определения возможного сотрудничества, изучения покупательного спроса и т.п. Одним из широко используемых инструментов АКС является схема «Пяти сил» М. Портера (рис. 3.4) [82, 83].

На рис. 3.5 дан пример схемы для малого предприятия, которое рассматривалось методом SWOT-анализа.

Если ценовая конкуренция является доминирующим фактором для успешной деятельности предприятия, то SWOT-анализ целесообразно дополнить схемой «цепочка ценностей» [57]. Эта схема помогает выполнить анализ ценовой политики применительно к основной (маркетинг, закупки, производство, продажа, обслуживание) и вспомогательной (развитие технологии, управление кадрами и т.п.) деятельности. На основе анализа определяются издержки, возможные прибыли предприятия и запас конкурентоспособности. Эти показатели позволяют в зависимости от сложившейся ситуации на рынке (монопольная позиция, острая конкурентная борьба) принять обоснованное решение о выборе стратегии – увеличении прибыли или запаса конкурентоспособности.

	Положительные факторы	Отрицательные факторы	
	Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)	
Среда: внутренняя	Анализ контролируемых факторов: технических, финансовых, организационных, рыночных		Внутренняя среда
Среда: внешняя	Анализ возможных ситуаций: экономической, политической, технологической, демографической (не могут контролироваться)		Внешняя среда
	Возможности (O)	Угрозы (T)	
	Положительные факторы	Отрицательные факторы	
	В будущем		

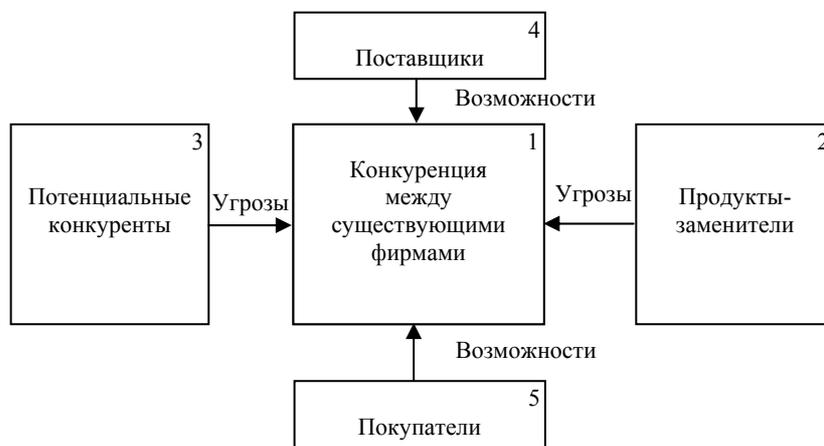
**Рис. 3.2. Матрица SWOT-анализа**

Для выделения основных групп предприятий-конкурентов составляется карта стратегических групп. В одну группу включают предприятия, которые близки по ассортименту продукции, используемым технологиям, классам потребителей и т.д. Карта составляется таким образом, чтобы размещение группы отражало цену и качество товара (высокие, средние, низкие), а также категорию охватываемого рынка (местный, региональный, национальный и т.д.).

Важным инструментом анализа для принятия решения по определению объема продаж является метод анализа жизненного цикла спроса/предложений [57]. Метод использует кривую изменения объема продаж по Гомпарту с выделением следующих фаз цикла спроса технологий: зарождение (группы фирм борются за лидерство на рынке, острая конкуренция), ускорение роста (осталось на рынке несколько фирм, спрос опережает предложение), замедление роста (предложение начинает опережать спрос), зрелость (спрос насыщен, производственные мощности используются не полностью) и спад (снижение объема спроса).

	Положительные факторы	Отрицательные факторы
	Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
Внутренняя среда		
	Наличие собственной технологии и ноу-хау. Инновационные навыки. Стоимостные преимущества. Высокий квалифицированный уровень кадров. Хороший опыт в области научных исследований. Ориентация на CALS-технологии и продукцию двойного назначения	Недостаточные финансовые ресурсы. Слабые навыки маркетинга. Плохой имидж на рынке. Недостаточный опыт работы с потребителями – крупными производителями энергоемких объектов
Внешняя среда		
	Внедрение разработки на различные массовые объекты. Расширение ассортимента (видов) продукции. Рост цен на энергоносители. Удешевление микропроцессорной техники и расширение функциональных возможностей	Наличие крупных фирм-конкурентов с большим опытом в области промышленной автоматизации. Большой интерес крупных фирм к разработкам в области энергосбережения. Возможность появления продуктов-заменителей
	Возможности (O)	Угрозы (T)

**Рис. 3.3. Фрагмент таблицы SWOT-анализа**



**Рис. 3.4. Схема «пяти сил» Портера**



**Рис. 3.5. Пример схемы «пяти сил» Портера:**

A – угроза продуктов-заменителей; B – угроза новых конкурентов;  
C – возможности поставщиков; D – возможности покупателей

При конкурентном анализе используется большое число разных по своей природе факторов, которые имеют разную степень влияния на конкурентоспособность продукции и предприятия в конкретной сложившейся ситуации. Эти факторы могут относиться к знаниям и технологии, навыкам, производству, распределению, маркетингу, организационной структуре и т.д. В настоящее время разработаны способы выделения так называемых ключевых факторов успеха (КФУ) [83]. Для выделения КФУ приводятся анализы спроса (пожеланий потребителей), ситуации (конкурентных сил), издержек и т.д. Выделенные факторы ранжируются по важности и степени неопределённости. В результате определяется несколько основных факторов (обычно не более пяти), которые следует учитывать в первую очередь при выработке проектных и управленческих решений.

В условиях группового ведения проекта, т.е. когда несколько проектировщиков работают параллельно над созданием разных частей нового продукта, хорошо зарекомендовал себя координирующе-стабилизирующий подход (КСП) [83].

Основная идея КСП заключается в постоянной координации деятельности всех разработчиков, участвующих в создании одного продукта, и периодической стабилизации формируемых свойств и функций продукта по мере его развития. Альтернативой КСП является однократная проверка качества уже готового продукта.

В качестве технических приёмов использования КСП фирмой Microsoft для эффективного управления работой большого количества команд при создании программного продукта применяются промежуточный отчет и промежуточное тестирование.

Для анализа различных областей деятельности предприятия с целью совершенствования широкое применение находит технология конкурентного анализа, названная бенчмаркингом (Benchmarking) [62]. Обычно под бенчмаркингом понимают централизованно спланированные исследования, проводимые в результате осознания руководством предприятия необходимости улучшений в критических областях бизнеса [62]. Выделяют несколько видов бенчмаркинга: продуктовый, стратегический, внутренний (сравнительный анализ деятельности подразделений), функциональный и др. Процесс бенчмаркирования начинается с областей деятельности, которые важны для поддержания предприятия в конкурентоспособном состоянии.

В заключение данного раздела следует отметить, что при сопоставлении альтернативных вариантов какого-либо проекта с использованием разных методов получаемые результаты могут не совпадать. Кроме того, привлекаемые эксперты обычно имеют разные специальности и отдают предпочтения разным методам. Например, системные аналитики – SWOT-анализу и ключевым факторам успеха, экономисты – цепочке ценностей, специалисты в области маркетинга – кривой спрос / предложение и т.п. Маловероятно, что один эксперт хорошо владеет всеми методами и применяет их при каждой экспертизе. Поэтому при формировании группы экспертов целесообразно подобрать такой состав, при котором будут использованы несколько разных методов. Такая «диверсификация» позволяет более полно выполнить конкурентный анализ, учесть большое число разного рода факторов. Если получаемые несколькими методами результаты совпадают, то это существенно повышает достоверность принимаемого решения. Существуют следующие основные критерии позволяющие повысить достоверность принятых решений.

Финансовые (для высшего уровня):

- 1) Чистая прибыль – абсолютная мера, р.
- 2) Прибыль на инвестированный капитал – относительная мера, характеризует эффективность инвестиций, %.
- 3) Поток денежных средств – показывает наличность, которая необходима для оплаты текущих счетов.

Операционные:

- 1) Выручка – денежные средства, полученные системой после продажи, (объём проданной продукции).
- 2) Товарно-материальные запасы – все денежные средства, инвестированные системой в закупки, необходимые для обеспечения последующих продаж.
- 3) Операционные расходы – все денежные средства, затрачиваемые системой на преобразование товарно-материальных запасов в новые денежные поступления.

Целью фирмы является увеличение выручки при одновременном сокращении товарно-материальных запасов и операционных расходов. Для достижения целей необходимо использовать комплекс разных показателей.

### 3.6. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Важнейшим условием конкурентоспособности энергоёмкой продукции производственно-технического назначения и бытового потребления в настоящее время становится её энергетическая эффективность. Под эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов (энергоносителей) понимается экономически оправданное их использование при существующем уровне развития техники и технологий, соблюдение требований к охране окружающей природной среды.

В качестве показателей энергетической эффективности продукции или технического процесса могут использоваться абсолютная, удельная относительная величины потребления или потерь энергоресурсов. Наряду с ними применяются также показатели экономичности энергопотребления продукции, т.е. количественные характеристики эксплуатационных свойств изделий, отражающие их техническое совершенство, которое определяется совершенством конструкции, качеством изготовления, уровнем (степенью) потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при использовании изделий по прямому функциональному назначению [18].

В общем случае энергосбережение достигается реализацией научных, технических, экономических, производственных, а также организационных и правовых мер, направленных на эффективное использование ТЭР. В качестве ТЭР рассматривается совокупность природных и производственных энергоносителей, запасенная энергия которых доступна для использования в хозяйственной и других видах деятельности при существующем уровне развития техники и технологии. Энергоносителями могут быть вещество в различных агрегатных состояниях (газообразном, жидком, твердом) и другие формы материи (поле, плазма и т.д.), запасенная энергия которых может использоваться в целях энергосбережения.

Перечень продукции, которая потребляет ТЭР при ее использовании по прямому функциональному назначению, исключительно широк. Сертификации по показателям энергетической эффективности подлежат следующие виды продукции:

- машины электрические (двигатели, энергонагреватели, водонагреватели, компрессоры и т.д.);
- продукция тяжёлого, энергетического и транспортного машиностроения (котлы, дизели и т.п.);
- продукция общемашиностроительного применения (насосы, гидромоторы и т.п.);
- продукция нефтяного и химического машиностроения (аппараты теплообменные, сушилки, холодильные установки и т.п.);
- изделия автомобильной промышленности, тракторы и сельскохозяйственные машины;
- продукция строительного, дорожного и коммунального машиностроения (экскаваторы, лифты, радиаторы и т.п.);
- бытовое оборудование (холодильники, стиральные машины и т.п.) и др.

В настоящее время выделяют три основные группы показателей энергетической эффективности (ПЭЭ):

- 1) нормируемые ПЭЭ продукции, вносимые в паспорта и другую нормативную документацию;
- 2) ПЭЭ производственных процессов, вносимые в энергопаспорта предприятий;
- 3) показатели реализации энергосбережения.

ПЭЭ характеризуют энергетическую эффективность соответствующих объектов на всех стадиях их ЖЦ и используются при планировании и оценке эффективности работ, связанных с энергосбережением; проведении энергетического аудита потребителей ТЭР; составлении статистической отчётности по использованию энергоресурсов.

Для характеристики технической, научной, экономической деятельности по энергоэффективности рекомендуется использовать следующие ПЭЭ:

- физическая экономия ТЭР, в том числе за счёт нормирования энергопотребления и экономического стимулирования;
- снижение потерь ТЭР за счёт оптимизации режимных параметров, внедрения автоматических систем энергосберегающего управления, приборов учёта ТЭР и подготовки кадров;
- снижение энергоёмкости производства продукции за счёт структурной перестройки энергопотребления, использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии, вторичных энергоресурсов, высокотехнологичного оборудования, отвечающего мировому уровню, и т.п.

В производственной деятельности широкое применение находят сравнительные показатели в виде сопоставления энергопотребления в текущем году с потреблением ТЭР в некотором базовом году.

Применительно к изделиям, оборудованию и технологическим процессам используются следующие ПЭЭ: экономичность потребления ТЭР, энергетическая эффективность передачи ТЭР и энергоёмкость производства продукции.

Важную роль в решении задач энергосбережения играют уменьшение энергопотребления электронной техникой, микропроцессорными устройствами и использование энергосберегающего управления.

Электроника и вычислительные сети интенсивно внедряются во все области человеческой деятельности. При существующих показателях энергетической эффективности электронной аппаратуры для обеспечения энергоснабжения компьютерных сетей необходимы источники питания большой мощности. Поэтому энергетическая эффективность электронной и микропроцессорной техники представляет собой одну из важнейших проблем. Особенно критичными к уровню потребления являются системы и устройства с автономным питанием. Основными путями снижения энергопотребления радиоэлектронной и компьютерной техники являются следующие [2].

1. Оптимизация архитектуры вычислительных устройств, в частности, уменьшение обращений к общей памяти, управление шинной структурой процессора и организации параллельных вычислений. Программная реализация сложных алгоритмов вычислений требует затрат энергии в сотни раз больше по сравнению со специализированными цифровыми устройствами с локальными регистрами памяти. Имеется возможность автоматически изменять тактовую частоту (в зависимости от производительности вычислений) и отключать неиспользуемые блоки.

2. Использование программного обеспечения (ПО) для снижения энергозатрат за счёт экономии на пересылке информации между удалёнными блоками, т.е. ПО должно учитывать взаимное расположение блоков. Для этого ПО необходимо разрабатывать одновременно с проектированием микросхем.

3. Снижение энергозатрат схемотехническими средствами, в том числе за счёт уменьшения утечек через подложки в МОП-транзисторах (подача смещения на подложку, использование транзисторов с большим пороговым напряжением), снижения напряжения питания и синхросигнала при обработке звуковой информации и т.д.

4. Использование технологических средств для уменьшения утечек через подложку и снижение разброса электрических параметров элементной базы. Для этого можно использовать трёхзатворные транзисторы, трёхмерные транзисторы, в которых канал изолирован диэлектриком от подложки, структуры кремния на диэлектрике и микросхемы с наноразмерными элементами.

5. Уменьшение энергозатрат конструктивными средствами, в том числе за счёт использования высокоплотного монтажа кристаллов (при этом повышается энергетическая эффективность вследствие уменьшения энергоёмкости сигнальных связей), трёхмерной сборки кристаллов в компактном корпусе, применения высокоскоростных интерфейсов и радиоинтерфейсов. Сокращение расстояний позволяет передавать информацию с высокой скоростью при малых энергозатратах.

Таким образом, энергетическая эффективность радиоэлектронных систем обеспечивается комплексной оптимизацией системы на всех этапах проектирования – создание архитектуры, программного обеспечения, схемотехническая разработка и техническая подготовка производства.

Значительного снижения энергозатрат можно добиться за счёт использования систем энергосберегающего управления объектами производственно-технического назначения. Опыт использования оптимального управления работой тепловых аппаратов показал, что экономия энергозатрат для технологических печей составляет 15 – 17 %, для электрических нагревателей жидкости – до 20 % [6]. Также значительное снижение энергозатрат достигается при оптимальном управлении динамическими режимами машин с электроприводами и транспортными средствами. Использование энергосберегающего управления наряду с экономией ресурсов повышает долговечность оборудования.

В большинстве случаев разработка алгоритмического обеспечения для систем оптимального управления, минимизирующих затраты энергии, расход топлива и других ресурсов, представляет собой сложное научно-техническое исследование. В каталогах алгоритмического и программного обеспечения фирм, поставляющих программные и технические средства для промышленной автоматизации (КРУГ, Техноконт, Трейс Моуд, Matlab, Siemens, Schneider Elektrik, Omron и др.), отсутствуют сведения об алгоритмах, минимизирующих затраты энергии или расход топлива.

В существующих SCADA-системах и других программных средствах, используемых для проектирования систем автоматического управления и регулирования, предполагается стандартный набор алгоритмов: ПИ- и ПИД-регулирование, линейный квадратичный оптимальный регулятор, оптимальное быстродействие, нечёткий регулятор и некоторые другие, в которых не учитываются характерные для энергосберегающего управления ограничения, например, на лимит энергии или запас топлива. Ряд фирм в проспектах о своей продукции упоминают об энергосбережении и «мягком» пуске электродвигателей, однако используемые для этого алгоритмы не раскрываются и считаются ноу-хау фирмы. Это объясняется следующим. Во-первых, анализ задач оптимального управления (ЗОУ) с функционалом затраты энергии показывает, что

даже в случае использования простейших моделей динамики в виде линейных дифференциальных уравнений третьего порядка при скалярном управлении число возможных видов функций оптимального управления (ОУ) более двадцати [37]. Если объект, динамика которого описывается дифференциальным уравнением второго порядка, имеет два входа (простейшая ММО-система), то число видов функций ОУ более сорока. Поэтому уже определение вида функции ОУ для задаваемого массива исходных данных представляет сложную задачу, такие задачи для многих энергоёмких объектов еще теоретически не исследовались.

Во-вторых, в процессе реальной эксплуатации объекта происходят изменения режимов работы, требуемых значений выходных переменных, ограничений на переменные и т.п. Это требует оперативного пересчёта управления, т.е. определения вида функции ОУ и её параметров для новых исходных данных. Для такого пересчёта ОУ в реальном времени необходима предварительно созданная база знаний.

В-третьих, для проектирования систем энергосберегающего управления часто приходится решать обратные задачи, например, определить, при каких исходных данных решение ЗОУ существует, как надо изменить исходные данные, чтобы обеспечить требуемый запас практической устойчивости системы и т.п.

В целях сокращённого обозначения различных задач энергосберегающего управления введём понятие модели ЗОУ в виде следующего кортежа

$$\langle M, F, S, O \rangle, \quad (3.44)$$

здесь  $M$  – модель динамики объекта;  $F$  – минимизируемый функционал;  $S$  – стратегия реализации ОУ;  $O$  – ограничения.

От значений компонентов  $M, F$  в модели (3.44) зависят возможные виды функций  $u^*(t)$  и соотношения для расчёта параметров этих функций. Модель (3.44) используется для обозначения соответствующих фреймов базы знаний экспертной системы «Энергосберегающее управление динамическими объектами». Фреймы содержат всю информацию о результатах полного анализа ЗОУ.

Под полным анализом ЗОУ, характеризуемой конкретной моделью (3.44), понимается комплекс исследований, включающий: получение условий существования решения ЗОУ для любых задаваемых исходных данных; определение всех возможных видов функций ОУ (два вида функций  $u_i^*(t), u_j^*(t)$  считаются различными, если они содержат разное число параметров или параметры функций рассчитываются с помощью разных соотношений); разработку алгоритма определения вида функции ОУ для задаваемого массива исходных данных; получение соотношений для расчёта параметров всех возможных функций ОУ; получение формул для расчёта траекторий изменения фазовых координат для всех видов функций ОУ, а также оценки значения функционала; получение соотношений для решения обратных задач (например, насколько надо изменить время  $t_k$ , чтобы решение задачи существовало).

В качестве математического аппарата для выполнения полного анализа ЗОУ используется принцип максимума и метод синтезирующих переменных [74, 81]. Применение метода синтезирующих переменных (МСП) позволяет визуализировать ход и результаты решения как прямых, так и обратных задач управления. В основе МСП лежит идея сокращения размерности массива исходных данных за счёт нормирования интервалов  $[t_0, t_k], [u_n, u_b]$  и введения вектора синтезирующих переменных  $L$ , однозначно характеризующего вид и параметры функции ОУ. Переход от массива исходных данных  $R$ , размерность которого всегда больше  $2n + 5$ , к вектору  $L$  размерности  $n$  значительно облегчает и ускоряет обработку информации в вычислительных процессах при анализе и синтезе ОУ (здесь  $n$  – размерность вектора фазовых координат  $z$ ).

Таким образом, до проведения вычислений информация, содержащаяся в массиве  $R$ , «сворачивается» (упаковывается) в значения компонентов вектора  $L$ . Все соотношения полного анализа задачи  $\langle M, F, S, O \rangle$  и выполняемые расчёты производятся с использованием вектора  $L$ , а затем получают результат, соответствующий массиву  $R$ . Следует заметить, что отображение  $R \rightarrow L$  является однозначным. Вместе с тем, при решении обратных задач приходится использовать переход от  $L$  к  $R$ , который не является однозначным. Однако при решении практических задач эта проблема решается введением дополнительных условий. В частности, может накладываться условие, что при  $L \rightarrow R$  в массиве  $R$  изменяется только один из компонентов, обычно  $t_k$  или  $z_i^k$ .

В процессе реальной эксплуатации объектов могут существенно изменяться компоненты модели ЗОУ  $\langle M, F, S, O \rangle$ , например вид модели динамики, вид функционала или стратегии, такие изменения будем называть изменениями состояний функционирования. Если при изменении значений массива  $R$  модель ЗОУ сохраняется, то пересчёт управления происходит с использованием соотношений, полученных при полном анализе одной ЗОУ. В случае изменения компонентов «четвёрки»  $\langle M, F, S, O \rangle$  для расчёта нового ОУ требуется переход к результатам полного анализа другой ЗОУ. Если на этапе разработки СЭУ выявлены все возможные ситуации при эксплуатации объекта и соответствующие модели ЗОУ, а также выполнен полный анализ для этих задач, то будем говорить, что выполнен анализ ЗОУ на множестве состояний функционирования (МСФ). Элементами этого множества, обозначим его  $H$ , являются значения переменной состояния функционирования  $h$ . Конкретному значению  $h$  соответствует определенная модель ЗОУ в виде четвёрки. Изменения  $h$  в процессе эксплуатации системы могут переходить как в определённые, так и в случайные моменты времени.

В зависимости от характера изменения  $h$  и возможности идентификации её значения (а соответственно и модели ЗОУ) возможны четыре класса задач управления на МСФ.

В задачах первого класса (ЗОУ1) в пределах временного интервала управления  $[t_0, t_k]$  значение  $h$  постоянно и известно, т.е. для расчёта ОУ используются результаты полного анализа одной модели ЗОУ. Однако для других временных интервалов значение  $h$  может быть другим. Таким образом, для ЗОУ1 изменения  $h$  происходят вне пределов временных интервалов управления. Например, эти изменения связаны со сменой вида обрабатываемых полупродуктов в аппаратах.

В задачах второго класса (ЗОУ2) значение  $h$  для временного интервала  $[t_0, t_k]$  также постоянно, но неизвестно или этому состоянию соответствуют несколько разных моделей ЗОУ. Например, требуется определить оптимальную программу, обеспечивающую конечное значение фазовых координат при двух разных моделях динамики объекта [45].

Задачи третьего класса (ЗОУ3) отличаются от ЗОУ1 и ЗОУ2 тем, что здесь переменная  $h$  изменяет свое значение на интервале  $[t_0, t_k]$ , при этом новые значения  $h$  сразу становятся известными. Например, к ЗОУ3 относятся задачи, в которых модель объекта описывается дифференциальным уравнением с разрывной правой частью, т.е.

$$\dot{z} = \begin{cases} A_1 z(t) + B_1 u(t), & t \in [t_0, t_1]; \\ \vdots \\ A_k z(t) + B_k u(t), & t \in [t_{k-1}, t_k], \end{cases}$$

здесь  $A_j, B_j, j=1, 2, \dots, k$  – матрицы параметров модели объекта, соответствующие состояниям функционирования  $h_1, h_2, \dots, h_k$ ;  $t_j$  – момент изменения значения  $h_j$  переменной  $h$  на  $h_{j+1}$ .

Задачи четвертого класса (ЗОУ4) аналогичны ЗОУ3, но здесь при изменении значения переменной  $h$  новое значение неизвестно, известно лишь подмножество  $N_4$  возможных значений  $h$ , а также модель изменения состояний функционирования [68].

Таким образом, анализ ЗОУ на МСФ предполагает введение множества  $N$ , учитывающего возможные ситуации в процессе длительной эксплуатации системы энергосберегающего управления (СЭУ), составление массива моделей ЗОУ, соответствующего множеству  $N$ , выполнение полного анализа для этих моделей ЗОУ, определение класса ЗОУ на МСФ и построение модели изменения переменной  $h$ , если в СЭУ реализуется ЗОУ4.

В результате анализа ЗОУ на МСФ разрабатывается информационно-технологическая среда (ИТС) для проектирования СЭУ, которые должны эффективно работать при изменении состояний функционирования в процессе длительной эксплуатации.

Разработанная ИТС позволяет оперативно решать следующие задачи синтеза энергосберегающего управления.

1. Синтез алгоритмического обеспечения контроллера с использованием результатов полного анализа модели ЗОУ. Например, применительно к модели  $\langle M, F, Pr, O \rangle$  эта задача может формулироваться следующим образом.

Задаются диапазоны возможных изменений параметров модели объекта  $[a_{гн}, a_{гв}], [b_{гн}, b_{гв}]$ , границ управляющих воздействий  $[u'_н, u''_н], [u'_в, u''_в]$  временного интервала  $[t'_0, t''_0], [t'_к, t''_к]$  и концов траектории вектора фазовых координат  $[z'_{i0}, z''_{i0}], [z'_{ik}, z''_{ik}]$ . Требуется найти подмножество видов функций ОУ для указанных интервальных значений исходных данных, выделить соотношения для расчёта параметров функций  $u_i^*(t)$ , проверки существования решения ЗОУ и решения обратных задач управления. По существу это задача разработки супервизора для интеллектуального контроллера.

2. Синтез ОУ в реальном времени (СРВ). Данная задача заключается в синтезе энергосберегающих управляющих воздействий при изменении состояний функционирования, т.е. решении ЗОУ3 на основе результатов анализа на МСФ. Математически задача СРВ формулируется следующим образом. Задаётся допустимое время  $\Delta t_d$ , которое удовлетворяет условиям:

- 1) вероятность изменения  $h$  за  $\Delta t_d$  пренебрежимо мала;
- 2) функционирование СЭУ в течение  $\Delta t_d$  при нескорректированном после изменения  $h$  управлении  $u(t)$  не ведёт к срыву терминального условия  $z(t_k) = z^k$  за исключением случая, когда изменение  $h$  происходит в момент  $\theta = t_k - \Delta t_d$ ;
- 3) время  $\Delta t_d$  должно быть достаточно для идентификации значения  $h$ ;
- 4) время  $\Delta t_d$  соответствует возможностям микропроцессора по быстродействию. Иногда, например при имеющемся контроллере, могут задаваться также объём памяти и пакет микрокоманд микропроцессорного устройства.

Требуется разработать алгоритм, который при произвольных изменениях  $h$  на интервале  $[t_0, t_k]$  (но таких, что при каждом значении  $h$  решение ЗОУ существует) за время  $\Delta t_c = \Delta t_d - \Delta t$  позволяет определить вид и рассчитать параметры управления  $u^*(\cdot/h)$ , соответствующего новому значению переменной  $h$ , и может быть реализован при заданных технических характеристиках управляющего устройства, здесь  $\Delta t$  – время, необходимое для расчёта и установки скорректированного  $u(\cdot/h)$ .

3. Синтез гарантированного управления. Данная задача связана с синтезом управления в ЗОУ второго и четвертого классов, когда требуется получить управление, гарантирующее выполнение условия для конечного момента времени  $t_k$  при неизвестном состоянии функционирования на интервале управления  $[t_0, t_k]$ . Здесь различают два случая: в первом значении  $z(t_k)$  задается точкой  $z^k$  в  $n$ -мерном пространстве, во втором – областью  $Z^k$ .

4. Совмещенный синтез ОУ. В данной задаче задаются возможные виды модели объекта и массив исходных данных  $R$ , за исключением параметров объекта. Требуется за допустимое время идентифицировать модель объекта и затем определить вид и параметры функции ОУ.

5. Синтез квазиоптимального управления (КОУ). Данная задача часто связана с невозможностью плавно изменять ОУ по требуемому закону или со сложностью расчётов точного значения функции  $u^*(t)$ . В качестве вида КОУ  $\tilde{u}(t)$  обычно рассматривается ступенчатая функция, которая с требуемой точностью или допустимым увеличением функцио-

нала аппроксимирует непрерывную функцию  $u^*(t)$ . Применение КОУ позволяет значительно упростить реализацию управляющих воздействий за счёт небольшого числа фиксированных значений  $u(t)$ . Например, для электронагрева используется два нагревательных элемента. В этом случае  $u(t)$  может принимать три значения: 0 (оба элемента выключены),  $u_1$  (один элемент включен) и  $u_2$  (два элемента включены). Число значений  $\tilde{u}(t)$  может увеличиваться как за счёт введения дополнительных элементов, так и за счёт разных способов их включения (последовательное, параллельное, комбинированное).

Рассмотренные и другие задачи синтеза применительно ко второму, третьему и четвертому классам задач на МСФ решаются с использованием информационно-управляющих систем, содержащих базы знаний с результатами полного анализа необходимых моделей ЗОУ.

Рассмотренные задачи анализа и синтеза энергосберегающего управления динамическими объектами на МСФ показывают, что эти задачи могут эффективно решаться лишь с использованием информационных технологий, реализуемых информационно-управляющими системами. Основу математического обеспечения этих систем составляют результаты полного анализа отдельных моделей ЗОУ.

### 3.7. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Рассмотрим этот вопрос на примере такого характерного представителя финансовой сферы, как средний коммерческий банк. Особенности этих банков являются: значительный объем собственного капитала; весомый вклад в развитие экономики региона; большие финансовые потоки, сопровождающие деятельность банка по обслуживанию клиентов; услугами банка могут пользоваться предприятия и организации различных форм собственности и отдельные физические лица, а также органы власти всех уровней; наличие сети филиалов.

При управлении коммерческой деятельностью банка на некотором временном интервале следует решать одну из трёх возможных задач оптимизации с конкретным критерием  $Q$ : скалярные целевые функции – прибыль банка  $Q^п$  или его ликвидность  $Q^л$  для условий стабильности или крайней нестабильности, соответственно, и вектор-функция  $\bar{Q} = (Q^п, Q^л)$ , содержащая обе компоненты, для условия умеренной нестабильности. Таким образом,  $Q \in \{Q^п, Q^л, \bar{Q} = (Q^п, Q^л)\}$ .

Поиск управлений на интервале  $[0, T]$ , где  $T = 2, 3, \dots, 5$  лет, заключается в нахождении некоторой стратегии, представляющей собой кусочно-постоянную во времени многомерную программную траекторию управления – вектор-функцию  $\bar{U} = (\bar{U}_1, \bar{U}_2, \dots, \bar{U}_{4T})$ , определённую на интервале  $[0, T]$ , отдельные участки которой соответствуют поквартальным управляющим воздействиям.

Оптимальной стратегией будет называться такая стратегия, которая позволит получить наилучшие, в том или ином смысле, результаты на  $[0, T]$ . В зависимости от сложившейся экономической ситуации в качестве доминантного критерия  $Q(\bar{U})$  могут быть использованы: одна из целевых функций – прибыль банка  $Q^п(\bar{U})$  или его ликвидность  $Q^л(\bar{U})$ , соответственно, а также вектор-функция  $\bar{Q}(\bar{U}) = (Q^п(\bar{U}), Q^л(\bar{U}))$ , содержащая обе компоненты. Таким образом, далее рассматриваются три возможных задачи.

В общем виде любая из упомянутых задач поиска оптимальных управлений на интересующем интервале времени  $[0, T]$  с одним из возможных критериев может быть сформулирована следующим образом.

Требуется найти на  $[0, T]$ , где  $T = 1, 2, \dots, 5$  лет, такую стратегию управления  $\bar{U}^* = (\bar{U}_1^D, \bar{U}_1^A, \bar{U}_2^D, \bar{U}_2^A, \dots, \bar{U}_{4T}^D, \bar{U}_{4T}^A)$  – кусочно-постоянную во времени (поквартальную) многомерную программную траекторию, что

$$Q(\bar{U}_1^D, \bar{U}_1^A, \bar{U}_2^D, \bar{U}_2^A, \dots, \bar{U}_{4T}^D, \bar{U}_{4T}^A) \rightarrow \max \quad (3.45)$$

при ограничениях в виде модели

$$M(\bar{F}_{t-1}, \bar{D}_{t-1}, \bar{A}_{t-1}, \bar{Y}_{t-1}, \bar{D}_{i_1}, \bar{A}_{i_2}, \bar{U}_{i_1}^D, \bar{U}_{i_2}^A, \bar{I}_t, \bar{k}_t, \bar{U}_t^D, \bar{U}_t^A, \bar{F}_t, \bar{D}_t, \bar{A}_t, \bar{Y}_t) = 0, \quad (3.46)$$

$$t = 1, 2, \dots, 4T, \quad i_1 \in [t - \tau_D, t - 1], \quad i_2 \in [t - \tau_A, t - 1],$$

при функциональных ограничениях

$$g_j(\bar{U}_t^D, \bar{U}_t^A, \bar{F}_t, \bar{D}_t, \bar{A}_t, \bar{Y}_t) \geq 0, \quad j = \overline{1, N_g}, \quad (3.47)$$

при прямых ограничениях, вытекающих из условий физической реализуемости, где  $M$  – символ математической модели;  $g_j$  –  $j$ -е функциональное ограничение;  $N_g$  – число ограничений.

Упомянутые задачи представляют собой задачи однокритериальной или многокритериальной условной оптимизации. Они состоят в многошаговом распределённом во времени процессе принятия решений по управлению коммерческой деятельностью банка на заданном интервале. Решение должно искажаться среди множества стратегий управления, число которых с учётом размерности вектора управлений огромно. При этом результаты деятельности банка на соответствующем интервале времени, получаемые с помощью модели (3.46), должны удовлетворять всем требованиям ЦБР РФ.

Очевидно, имея аддитивные критерии в соответствующих однокритериальных задачах многоэтапного процесса принятия решения на некотором интервале времени, целесообразно использовать метод динамического программирования. Этот метод, основанный на идее погружения и принципе оптимальности Р. Беллмана, позволяет значительно сократить объём проводимых вычислений за счёт поэтапного решения задач оптимизации значительно меньшей размерности, используя функциональные уравнения Беллмана. В результате получается «пучок» оптимальных стратегий управления для каждого исходного состояния объекта, после чего, задаваясь конкретным состоянием, из «пучка» выдергивается та стратегия, определяющая последовательность векторов управляющих воздействий на отдельных кварталах, при которых обеспечивается глобальный максимум соответствующего критерия на интервале времени.

Очевидна также невозможность применения традиционных методов для поиска управляющих стратегий в задачах векторной оптимизации. Поэтому требуется разработка метода решения поставленной задачи, учитывающего её специфику и позволяющего за приемлемое время рассчитывать и выдавать лицу, принимающему решения, (ЛПР) в качестве совета рекомендуемую оптимальную стратегию управления.

Задачу векторной оптимизации вида (3.45) – (3.47) можно рассматривать как задачу принятия на интервале времени  $[0, T]$  поквартальных управленческих решений  $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \dots, \bar{U}_{4T}$ , в которой критерием оптимальности является вектор-функция  $\bar{Q}(\bar{U}) = (Q^1(\bar{U}), Q^2(\bar{U}))$ , компоненты которой необходимо максимизировать, причём вектор управлений  $\bar{U} = (\bar{U}_1, \bar{U}_2, \dots, \bar{U}_{4T})$  имеет высокую размерность.

В данном случае имеем дело с двумя противоречивыми критериями оптимальности – прибыль  $Q^1(\bar{U})$  и ликвидность банка  $Q^2(\bar{U})$ , которые в условиях умеренной экономической нестабильности имеют примерно одинаковую важность, а, следовательно, их невозможно свести к одному компромиссному критерию, и в соответствии с этим на каждом из кварталов необходимо обеспечивать их сбалансированность.

Для решения обычных (одноэтапных) задач векторной оптимизации И.М. Соболев и Р.Б. Статников [92, 93] разработали диалоговый алгоритмический метод, позволяющий по ограниченному числу  $N_{пт} = 2^m$  ( $m = 6, 7, 8, \dots$ ) генерируемых пробных точек обоснованно определять области допустимых управлений и выделять множество Парето, в котором ищется «наилучшее» решение. Особенностью метода является покрытие многомерных областей управления пробными точками, в качестве которых используются точки равномерно распределённых последовательностей. Наиболее эффективны для этих целей так называемые ЛП $_{\tau}$ -последовательности, обладающие наилучшими характеристиками равномерности в  $n$ -мерном пространстве. Этот метод состоит из четырёх этапов: составление таблиц испытаний, выбор критерильных ограничений, проверка разрешимости задачи, нахождение условно-оптимального решения.

Идеи этого метода применены для решения задачи многоэтапной векторной оптимизации, в результате чего получены соответствующие рекомендации по его использованию на разных этапах решения рассматриваемой задачи, совокупность которых можно рекомендовать как новый метод подобных задач.

Обозначим в задаче (3.45) – (3.47) вектор управления  $\bar{U}_t = (\bar{U}_t^D, \bar{U}_t^A)$ , характеризующий принимаемые решения по деятельности банка (процентные ставки по соответствующим видам депозитов и активов) в  $t$ -м квартале следующим образом:

$$\bar{U}_t = (u_{1,t}, u_{2,t}, \dots, u_{N_U,t}), \quad (3.48)$$

где  $N_U$  – количество компонент вектора управлений.

Будем применять изложенный в [92] метод поквартально. При этом первым шагом его применения в произвольном  $t$ -м квартале, где  $t = \{1, 2, \dots, 4T\}$ , является составление таблиц испытания. Основой для этого является алгоритм численного сканирования, заключающийся в последовательном выборе некоторого числа  $N_{пт}$  пробных точек  $\bar{U}_{1,t}, \bar{U}_{2,t}, \dots, \bar{U}_{N_{пт},t}$ , имеющих размерность  $N_U$  и равномерно расположенных в множестве достижимости управлений

$$\bar{U}_{i,t} = (u_{i,1,t}, u_{i,2,t}, \dots, u_{i,N_U,t}), \quad i = \overline{1, N_{пт}}. \quad (3.49)$$

Компоненты каждой пробной точки в (3.3)

$$u_{i,j,t} = u'_{j,t} + (u''_{j,t} - u'_{j,t})w_{ij}, \quad i = \overline{1, N_{пт}}, \quad j = \overline{1, N_U}, \quad (3.50)$$

где  $u'_{j,t}, u''_{j,t}$  – соответственно, нижнее и верхнее ограничения на  $j$ -е управляющее воздействие в  $t$ -м квартале, т.е.  $u'_{j,t} \leq u_{j,t} \leq u''_{j,t}$ .

При вычислении компонент вектора  $\bar{U}_{i,t}$  в (3.50) используются точки ЛП $_{\tau}$ -последовательности  $W_1, W_2, \dots, W_{N_{пт}}$ , а значения компонент  $i$ -й точки  $W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iN_U})$  ЛП $_{\tau}$ -последовательности вычисляются следующим образом:

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^m 2^{-k+1} \cdot \left\{ \frac{1}{2} \sum_{l=k}^m [2 \cdot \{i \cdot 2^{-l}\}] \cdot [2 \{r_{jl} \cdot 2^{k-l-1}\}] \right\},$$

$$i = \overline{1, N_{пт}}, \quad j = \overline{1, N_U},$$
(3.51)

где (3.52)

$$m = 1 + [\ln i / \ln 2],$$

а значения чисел  $r_{jl}$  приведены в [92].

В выбранных пробных точках  $\{\bar{U}_{i,t}\}$ ,  $i = \overline{1, N_{пт}}$  рассчитываются по модели (3.46) выходные параметры и проверяется справедливость ограничений (3.47), накладываемых на них, т.е. строятся соответствующие области допустимых решений. Этим областям, как показывают последующие вычисления, удовлетворяют далеко не все пробные точки, а лишь некоторые. Вычисляются значения критериев прибыли  $Q_{i,t}^п(\bar{U}_{i,t})$  и ликвидности  $Q_{i,t}^л(\bar{U}_{i,t})$  в точках, соответствующих управлениям, при которых выполнялись все ограничения.

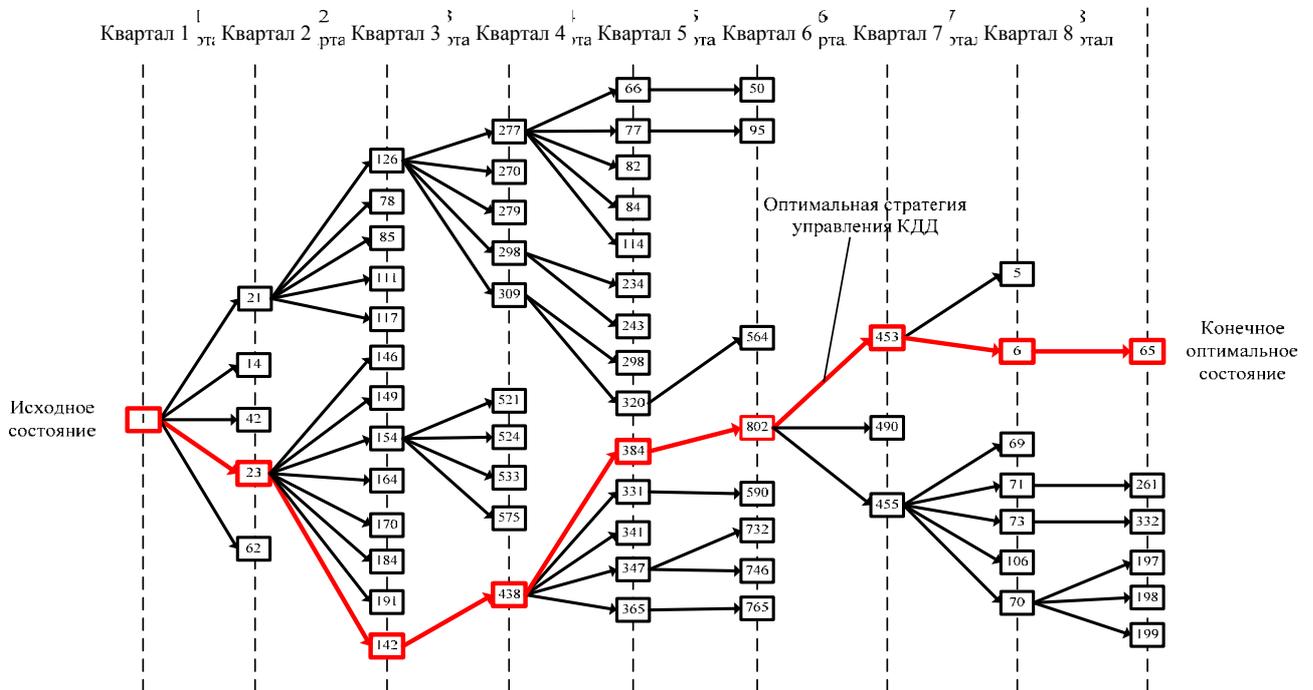
Далее осуществляется выбор приближённо эффективных точек. Пробная точка  $\bar{U}_{i,t}$  –  $i$ -е допустимое управление в  $t$ -м квартале является приближённо эффективной точкой тогда, когда на всём допустимом множестве не найдется другой точки  $k$ , для которой в системе неравенств

$$Q_{i,t}^п(\bar{U}_{i,t}) \geq Q_{k,t}^п(\bar{U}_{i,t});$$
(3.53)

$$Q_{i,t}^л(\bar{U}_{i,t}) \geq Q_{k,t}^л(\bar{U}_{i,t})$$
(3.54)

хотя бы одно неравенство строгое. При  $N_{пт} \rightarrow \infty$  приближённо эффективные точки являются точками множества Парето.

Очевидно, что последовательность решения задачи многоэтапной векторной оптимизации (3.45) – (3.47) можно представить в виде графа. В качестве примера, иллюстрирующего поиск оптимальной стратегии управления коммерческой деятельностью банка на интервале времени  $[0, T]$ , где  $T = 2$  года, на рис. 3.6 изображён граф типа дерева. При этом число  $N_{пт}$  пробных точек, генерируемых в каждом из возможных состояний, характеризующих деятельность банка в  $t$ -м квартале, было выбрано нами, равным 64. Большее число пробных точек не позволит наглядно и убедительно продемонстрировать особенности предлагаемого нами метода к решению многоэтапных задач.



**Рис. 3.6. Граф поквартальных  $t$ -х ( $t \in \{1, 2, \dots, 4T\}$ ,  $T = 2$ ) состояний, характеризующих коммерческую деятельность, при управляющих воздействиях на каждом квартале, которые определяют соответствующие множества решений Парето (при  $N_{пт} = 64$ )**

На приведённом графе пронумерованные узлы характеризуют состояния деятельности банка на соответствующем квартале. Эти состояния описываются векторами выходных переменных, получаемыми в результате поквартального применения таких управлений вида (3.49), выбранных среди сгенерированных пробных точек, которые определяют множества решений Парето для этого квартала. Таким образом, все узлы на рис. 3.6 характеризуют состояния деятельности банка в различных кварталах при управляющих воздействиях, принадлежащих соответствующим множествам Парето.

При этом в качестве исходного состояния 1 деятельности банка (в начале первого квартала из интервала  $[0, T]$ ) используется реальная информация о деятельности банка, полученная на конец предыдущего его периода деятельности.

Номера генерируемых управляющих воздействий (по 64 для каждого узла в конкретном квартале) номеруются, начиная с первого квартала, последовательно на всем интервале  $[0, T]$ , а узлы в каждом квартале номеруются последовательно от 1 до  $N_t N_{пт}$ , где  $N_t$  – число узлов, характеризующих состояния деятельности банка в  $t$ -м квартале при управляющих воздействиях, принадлежащих  $t$ -му множеству Парето. Например, в конце второго квартала имеем  $N_2 = 5 \cdot 64$ , т.е. номера узлов принадлежат диапазону  $[1, 320]$ , а в конце третьего соответственно получим  $N_3 = 832$  и диапазон  $[1, 832]$  и т.д.

В табл. 3.1 приведены поквартальные сгенерированные управляющие воздействия, которые определяют множества Парето на соответствующих кварталах, а значения критериев прибыли  $Q_{i,t}^п$  и ликвидности  $Q_{i,t}^л$  для каждого из узлов представлены в табл. 3.2.

Выделение множеств Парето в каждом  $t$ -м квартале позволяет значительно уменьшить количество проводимых вычислений в последующем. Например, в первом квартале из 64 узлов, характеризующих рассчитанные по модели (3.46) состояния банка при применении сгенерированных 64 векторов управлений, было выявлено 5 приблизительно эффективных узлов, образующих множество Парето.

Это позволило в следующем квартале вычислять по модели состояния только для  $5 \times 64 = 320$  узлов, а не  $64^2 = 4096$ , как это делается традиционно. На всем интервале  $[0, T]$ , где  $T = 2$  года, как это видно из рис. 3.6, необходимо выполнить по модели 4288 расчётов состояния банка по отдельным кварталам вместо  $64 + 64^2 + 64^3 + 64^4 + 64^5 + 64^6 + 64^7 + 64^8 = 2,8594 \cdot 10^{14}$  традиционных расчётов.

**3.1. Фрагменты данных  
(поквартальные управляющие воздействия, определяющие множества Парето  
на соответствующих кварталах из интервала времени  $[0, T]$ ,  $T = 2$  года при  $N_{пт} = 64$ )**

Номер управления	$D^{ДвФ}$	$D^{ДвЮ}$	$D^{МбКс}$	$D^{МбДс}$	$D^{СсФ}$	$D^{СсЮ}$	$D^{ДсФ}$	$D^{ДсЮ}$	$U^A^{КсФ}$	$U^A^{КсЮ}$	$U^A^{СсФ}$	$U^A^{СсЮ}$	$U^A^{ДсФ}$	$U^A^{ДсЮ}$
<i>Первый квартал</i>														
14	0,017	0,047	0,066	0,101	0,062	0,062	0,085	0,068	0,151	0,086	0,223	0,132	0,180	0,108
21	0,016	0,044	0,053	0,100	0,055	0,080	0,069	0,093	0,148	0,108	0,146	0,106	0,164	0,120
23	0,019	0,050	0,045	0,069	0,063	0,071	0,078	0,083	0,167	0,073	0,169	0,120	0,183	0,134
42	0,016	0,042	0,064	0,072	0,070	0,082	0,074	0,062	0,163	0,084	0,162	0,085	0,151	0,112
62	0,022	0,057	0,054	0,076	0,054	0,078	0,066	0,070	0,161	0,073	0,216	0,131	0,163	0,121
...														
<i>Шестой квартал</i>														
3213	0,012	0,065	0,035	0,051	0,082	0,056	0,073	0,079	0,183	0,066	0,248	0,110	0,127	0,123
3215	0,010	0,074	0,040	0,045	0,073	0,038	0,083	0,091	0,159	0,074	0,277	0,075	0,114	0,107
3250	0,009	0,060	0,048	0,042	0,071	0,052	0,082	0,079	0,218	0,062	0,206	0,073	0,109	0,133
...														
<i>Восьмой квартал</i>														
3529	0,012	0,053	0,042	0,060	0,067	0,060	0,059	0,093	0,195	0,053	0,233	0,117	0,103	0,131
3661	0,010	0,056	0,039	0,057	0,071	0,048	0,063	0,088	0,158	0,057	0,276	0,095	0,110	0,107
3662	0,011	0,049	0,057	0,063	0,048	0,043	0,055	0,128	0,179	0,049	0,244	0,085	0,075	0,121
3663	0,009	0,064	0,045	0,050	0,063	0,033	0,072	0,101	0,137	0,064	0,309	0,065	0,098	0,092
3725	0,008	0,073	0,031	0,045	0,092	0,037	0,083	0,069	0,121	0,074	0,350	0,073	0,143	0,081
3796	0,008	0,093	0,046	0,039	0,070	0,037	0,063	0,060	0,201	0,093	0,237	0,074	0,113	0,082

**3.2. Фрагменты данных для построения множеств решений Парето, определяемых соответствующими управляющими воздействиями на интервале  $[0, T]$  при  $N_{пт} = 64$**

Номер стартового узла	Номер соответствующего управления	Номер следующего узла	Значения критериев	
			$Q^п$	$Q^л$
<i>Первый квартал</i>				
1	14	14	8644,708	17,99053
1	21	21	8644,925	13,93221
1	23	23	8643,192	18,21114
1	42	42	8645,033	10,82329
1	62	62	8641,351	19,83022
...				

Шестой квартал				
802	3213	453	10 701,2	49,81755
802	3215	455	10 701,51	46,00868
802	3250	490	10 701,65	30,92927
...				
Восьмой квартал				
6	3529	65	11 547,81	34,90531
70	3661	197	11 547,84	15,15951
70	3662	198	11 546,93	39,69545
70	3663	199	11 546,2	39,79071
71	3725	261	11 547,65	39,17114
73	3796	332	11 547,7	36,40653

Получив граф поквартальных  $t$ -х ( $t \in \{1, 2, \dots, 4T\}$ ) состояний, в восьмом квартале получаем точки множества Парето (табл. 3.2) и управлений (табл. 3.1), определяющих состояния 65, 261, 332, 197, 198, 199, соответствующие этим точкам. На этом множестве ЛПР должно выбрать решение, которое можно считать Парето-оптимальным.

Исходя из вышесказанного, разработан следующий алгоритм решения векторной задачи оптимизации (3.45) – (3.47), изображённый на рис. 3.7.

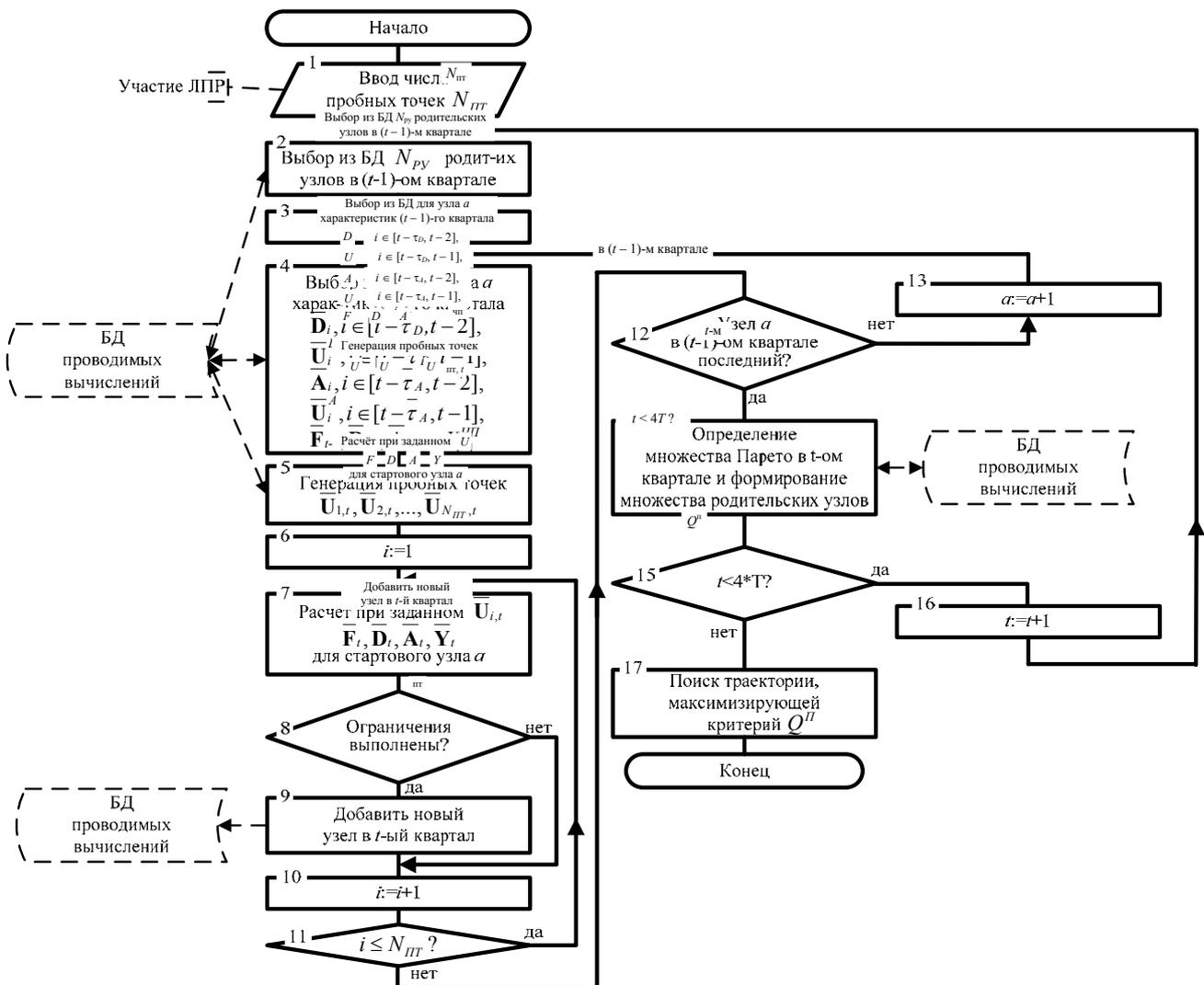


Рис. 3.7. Алгоритм поиска оптимального решения задачи векторной оптимизации (3.45) – (3.47)

В блоке 1 вводится значение переменной  $N_{пт}$ , характеризующей количество генерируемых пробных точек управлений для каждого родительского узла графа в рассматриваемом квартале.

С помощью блока 2 из БД, содержащей информацию, которая относится к рассчитываемым состояниям кредитно-депозитной деятельности банка, считываются данные о количестве родительских узлов в  $(t - 1)$ -м квартале, а переменной  $N_{пу}$  присваивается это значение.

В блоке 3 переменной  $a$ , описывающей индекс текущего родительского узла в рассматриваемом квартале, присваивается значение, равное единице.

В блоке 4 из БД считывается информация, которая позволяет, задаваясь некоторыми управлениями, определить по модели состояние деятельности банка в  $t$ -м квартале для входного состояния, характеризуемого родительским узлом  $a$ .

В блоке 5 по формулам (3.48) – (3.52) вычисляются  $N_{пт}$  пробных точек в виде управлений  $\bar{U}_{1,t}, \bar{U}_{2,t}, \dots, \bar{U}_{N_{пт},t}$ . В блоках 6 – 11 организован цикл по перебору всех пробных точек и определения таких узлов в  $t$ -м квартале, которые являются листьями родительского узла с индексом  $a$  в  $(t - 1)$ -м квартале и соответствуют управляющим воздействиям, принадлежащим области допустимых управлений в пространстве размерности  $N_U$ .

В блоке 6 переменной  $i$ , описывающей номер генерируемого вектора управлений  $\bar{U}_{i,t}$ , присваивается значение, равное единице.

Затем в блоке 7 рассчитывается по модели (3.46) состояние деятельности банка в  $t$ -м квартале при входных значениях, взятых из блока 4, и сгенерированном векторе управления  $\bar{U}_{i,t}$ . Это и последующее состояние последовательно нумеруются с помощью переменной  $N_C$ , принимающей значения от 1 до  $N_{пу}N_{пт}$ .

В блоке 8 для рассматриваемого состояния проверяется выполнение ограничений, накладываемых на переменные, характеризующие деятельность банка в  $t$ -м квартале. Если они выполняются, то в блоке 9 формируется узел для квартала  $t$  с номером  $N_C$ , а информация о данном состоянии сохраняется в БД. В противном случае это состояние исключается из дальнейшего рассмотрения, поскольку соответствующая ему пробная точка управления не принадлежит множеству допустимых управлений.

В блоке 10 переменная  $i$  увеличивается на единицу, а в блоке 11 проверяется условие продолжения цикла, связанного с перебором пробных точек управлений. Если для родительского узла  $a$  использованы все  $N_{пт}$  пробных точек управления, то цикл вычислений для этого стартового узла заканчивается. В противном случае управление передается блоку 7 и для родительского узла с индексом  $a$  вычисляется следующее состояние, определяемое пробной точкой управления  $\bar{U}_{i+1,t}$  и т.д.

В блоке 12 выясняется, все ли родительские узлы для  $(t - 1)$ -го квартала рассмотрены. Если такие узлы еще существуют, то происходит увеличение переменной  $a$  на единицу в блоке 13 и повторяется цикл вычислений в блоках 4 – 12. Если таких узлов уже нет, то управление передается блоку 14.

Таким образом в блоках 4 – 12 рассчитываются состояния, обусловленные всеми родительскими узлами для  $(t - 1)$ -го квартала и соответствующими сгенерированными для каждого из них  $N_{пт}$  пробными точками управлений  $\bar{U}_{1,t}, \bar{U}_{2,t}, \dots, \bar{U}_{N_{пт},t}$ .

В блоке 14 осуществляется выбор приближённо эффективных узлов, обусловленных приближённо эффективными точками управлений  $\bar{U}_{i,t}$  в  $t$ -м квартале, определяемыми согласно (3.53), (3.54). Другими словами, здесь происходит удаление из найденных ранее в блоках 4 – 12 областей допустимых управлений тех ранее сгенерированных пробных точек управлений, которые не соответствуют множеству точек Парето, и одновременное удаление отвечающих им узлов. При этом оставленные приближённо эффективные узлы для  $t$ -го квартала (см., например, прямоугольники с номерами на рис. 3.6) являются родительскими узлами для узлов  $(t + 1)$ -го квартала.

В блоке 15 проверяется условие окончания вычислений для интервала  $[0, T]$ . Если последние не окончены, то в блоке 16 переменная  $t$  увеличивается на единицу и повторяется в блоках 2 – 15 цикл вычислений для следующего квартала. В случае окончания всех расчётов в блоке 17 определяются траектории, характеризующие поквартальные состояния, и среди них находится та траектория, которая обеспечивает наибольшее значение на  $[0, T]$  критерия прибыли  $Q^п$ .

Подводя итог сказанному, отметим, что предлагаемый метод и соответствующий алгоритм позволяют найти такие оптимальные стратегии управления, при которых обеспечивается безусловная сбалансированность критериев прибыли и ликвидности в каждом из кварталов рассматриваемого интервала  $[0, T]$  и максимизация прибыли на всем промежутке времени.

## 4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

В данном разделе рассмотрены примеры решения задач принятия управленческих решений с использованием методов, приведённых в третьей главе.

### 4.1. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ДИНАМИЧНОСТИ

Пусть объектом проектирования является система управления прецизионной шестисекционной электрической печью, используемой в производстве позисторов. Мотивацией проекта является большое энергопотребление, высокий процент брака и относительно низкая надёжность нагревательных элементов печи (графитовых стержней).

Основными стадиями проектирования системы управления являются: маркетинговые (предпроектные) исследования, формирование концепции, идентификация модели объекта (научно-исследовательская работа (НИР)), эскизный проект (разработка алгоритмического обеспечения) и техническое проектирование (выбор аппаратных средств и программирование).

Модифицированная функциональная модель этих работ приведена на рис. 4.1. Рассмотрим подробно каждый этап проектирования, т.е. действия  $D_j$  и принятия решений  $ПР_j, j = \overline{0,4}$ .

$D_0$  – выполнение предпроектной стадии. На основе имеющейся информации  $J_0$  разрабатывается ориентир проектирования системы управления в виде массива ключевых компонентов проекта (ККП):

$$K_{оп} = (k_3^{оп}, k_{бр}^{оп}, k_{нд}^{оп}, k_{ок}^{оп}),$$

где  $k_3^{оп}, k_{бр}^{оп}, k_{нд}^{оп}, k_{ок}^{оп}$  – коэффициенты, учитывающие соответственно снижение затрат энергии и брака (%), повышение надёжности (%) и окупаемость системы управления (лет).

Управлениями  $C_{01}, C_{02}$  при разработке ККП являются технико-экономическая документация печи и методика разработки ККП, а основными ресурсами  $M_{01}$  – персонал службы маркетинга и  $M_{02}$  – Internet.

Учитывая неопределённость на рынке сбыта продукции возможны две ситуации функционирования печи:  $h_1$  – нормальное функционирование, т.е. печь загружена более 50 % календарного времени;  $h_2$  – низкая загруженность печи (< 30 %). Эти условия характеризуются следующими значениями:

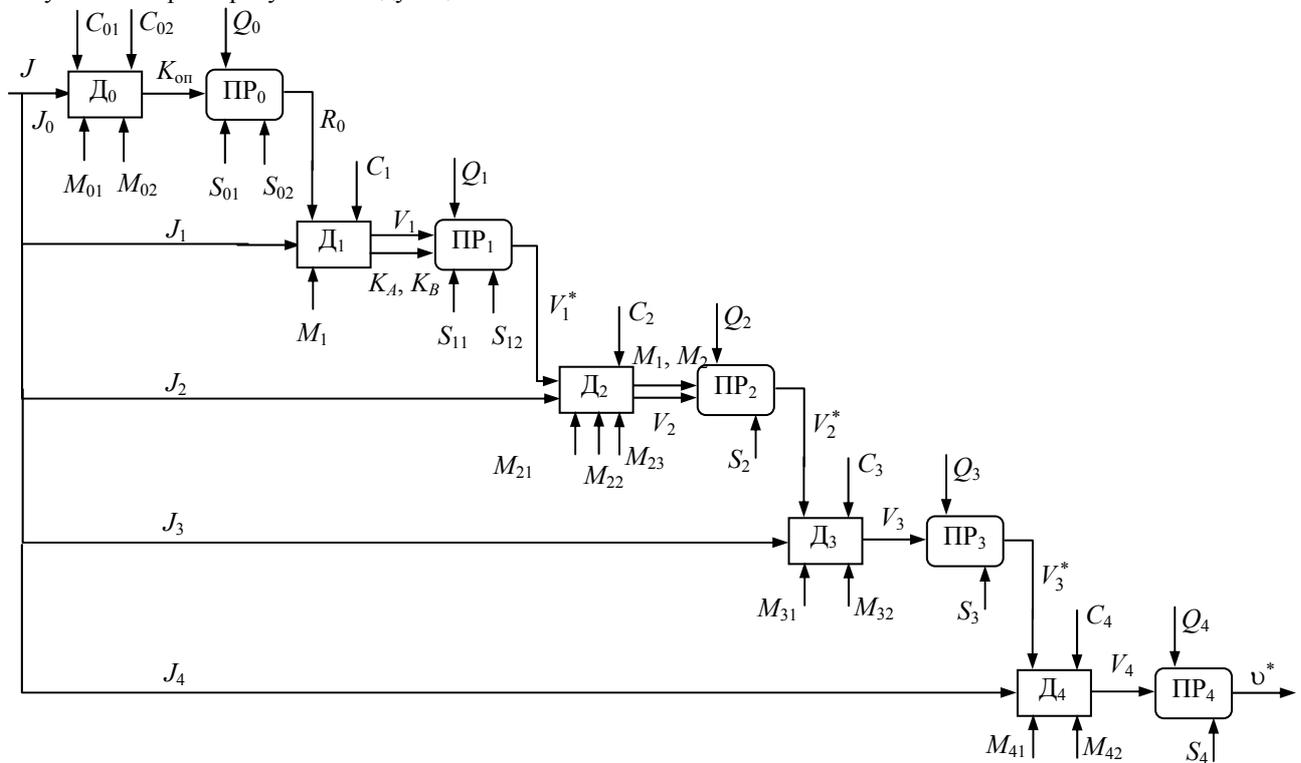


Рис. 4.1. Функциональная модель процесса проектирования

$$h_1 : p(h_1) = 0,6, \quad K_{оп}(h_1) = (4; 6; 5; 2);$$

$$h_2 : p(h_2) = 0,4, \quad K_{оп}(h_2) = (5; 8; 5; 2,5).$$

Таким образом, выход блока  $D_0$  содержит значения  $K_{оп}(h_i), p(h_i), i = 1, 2$ .

**ПР<sub>0</sub>**. Для принятия решения на продолжение работ требуется оценить вероятность  $P_0$  успешного выполнения проекта. С этой целью определяются вероятность  $P_{оп}$  правильности выбора ориентира проектирования, весовые коэффициенты компонентов  $(C_1, C_2, C_3, C_4)$  и доли  $d_k(h)$  массивов  $K_{оп}(h)$ , которые имеют достаточные основания для улучшения.

Эти значения определяются как средние на основе высказываний экспертов ( $S_{01}$ ) и обработки результатов с использованием АРМ проектировщика ( $S_{02}$ ) в соответствии с методикой проведения экспертизы  $Q_0$ . В нашем случае

$$P_{оп} = 0,95; \quad C_1 = 0,35, \quad C_2 = C_4 = 0,3, \quad C_3 = 0,05;$$

$$d_k(h_1) = C_1 + C_2 + C_4 = 0,95, \quad d_k(h_2) = C_1 + C_4 = 0,65;$$

$$\bar{d}_k = d_k(h_1)p(h_1) + d_k(h_2)p(h_2) = 0,83;$$

$$P_0 = \bar{d}_k P_{\text{оп}} \approx 0,79.$$

При расчёте  $d_k(h_1)$  предполагалось, что имеются предпосылки для достижения значений  $k_3^{\text{оп}}$ ,  $k_{6\text{р}}^{\text{оп}}$ ,  $k_{\text{ок}}^{\text{оп}}$ , а при расчёте  $d_k(h_2) - k_3^{\text{оп}}$ ,  $k_{\text{ок}}^{\text{оп}}$ .

Полученная вероятность  $P_0 = 0,79$  (результат  $R_0$ ) достаточно высока, и работы следует продолжить, риск примерно составляет 21 %.

$D_1$  – разработка концепции и формирование множества альтернативных вариантов системы управления. В результате обследования печи и существующей системы управления в виде шести систем автоматического регулирования (САР) температуры в секциях разработана структура дерева, формирующего варианты  $v_i$  новой системы управления (рис. 4.2).

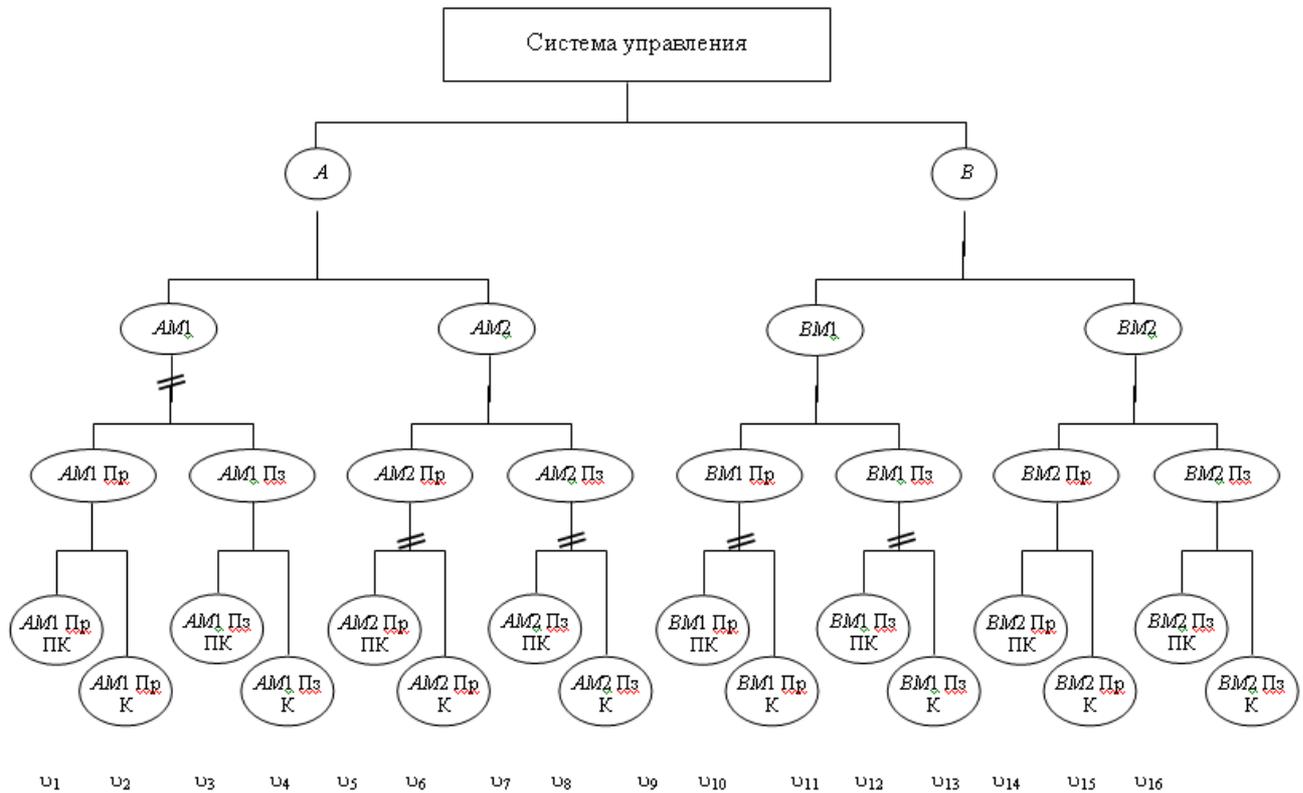


Рис. 4.2. Дерево формирования системы управления

Здесь ветвь, образующая подмножество вариантов с символом  $A$ , т.е.  $v_1 \triangleq AM1PrPK$ ,  $v_2 \triangleq AM1PrK$  и т.д., предусматривает разработку устройств энергосберегающего управления динамическими режимами нагрева и остывания печи, а также определения оптимальных режимов, обеспечивающих повышение качества продукции при сохранении существующих САР. Таким образом, варианты ветви  $A$  относятся к категории «мягкого» реинжиниринга.

Варианты ветви  $B$  предусматривают создание новой системы оптимального управления для режимов нагрева (остывания) и стабилизации температуры. Это варианты «жесткого» реинжиниринга. Таким образом, множество  $V_1$  содержит 16 вариантов, различающихся кроме вида реинжиниринга ( $A$  и  $B$ ) моделями динамики ( $M1$  – модели в форме одного дифференциального уравнения,  $M2$  – модели в форме дифференциальных уравнений с разрывной правой частью), стратегиями реализации оптимального управления (Пр – программная, Пз – позиционная, т.е. с обратной связью по фазовым координатам) и аппаратными средствами (ПК – используется компьютер, К – контроллер).

В общем случае на каждом уровне иерархии (дерева) может рассматриваться большее число элементов, например модели  $M1$  различаются порядком дифференциального уравнения и т.д.

Для блока  $D_1$  (рис. 4.1) управлениями являются:  $R_0$  и  $C_1$  – техническая документация; входами – информация  $J_1$  о моделях, стратегиях и аппаратных средствах; основным механизмом  $M1$  – персонал службы автоматизации; выходом  $O_1$  – множество вариантов  $V_1$  и значения массивов ККП в форме «тройственных» оценок – нижняя граница ( $K_n$ ), наиболее вероятное значение ( $\tilde{K}$ ) и верхняя граница ( $K_B$ ). Эти оценки имеют обобщенный характер для двух групп вариантов  $V_A$  с мягким реинжинирингом и  $V_B$  – с жестким и обозначаются соответственно

$$K_A = (K_A^H, \tilde{K}_A, K_B^B), \quad K_B = (K_B^H, \tilde{K}_B, K_B^B).$$

**ПР1.** Эксперты должны согласиться или скорректировать «тройственные» оценки  $(k_{ih}^v, \tilde{k}_i^v, k_{ib}^v)$ ,  $v \in \{V_A \cup V_B\}$  вариантов. В случае поступления дополнительной информации во время выполнения 1-го этапа работ могут быть изменены вероятности  $p(h)$ ,  $h \in \{h_1, h_2\}$ , значения  $K_{оп}(h)$ , а также введены новые ситуации.

Возможными исходами принятия решения на данном этапе являются:

- группы вариантов  $V_A$  и  $V_B$  остаются для последующего рассмотрения, если

$$\tilde{K}_A \sim \bar{K}_{оп}, \quad \tilde{K}_B \sim \bar{K}_{оп}, \quad \tilde{K}_A \sim \tilde{K}_B; \quad (4.1)$$

- остается только множество вариантов  $V_A$ , если

$$\tilde{K}_A \sim \bar{K}_{оп}, \quad \tilde{K}_B < \bar{K}_{оп}(h_1), \quad \tilde{K}_B < \bar{K}_{оп}(h_2), \quad \tilde{K}_A > \tilde{K}_B; \quad (4.2)$$

- остается только множество вариантов  $V_B$ , если

$$\tilde{K}_B \sim \bar{K}_{оп}, \quad \tilde{K}_A < \bar{K}_{оп}(h_1), \quad \tilde{K}_A < \bar{K}_{оп}(h_2), \quad \tilde{K}_A < \tilde{K}_B; \quad (4.3)$$

- группы вариантов  $V_A$  и  $V_B$  отклоняются для создания новых вариантов, если

$$\begin{aligned} \exists i \in \{\text{э, бр, нд, ок}\}: \\ \{(k_i^{оп}(h_1) \cup k_i^{оп}(h_2)) \in [k_{ih}^v, k_{ib}^v]\} \vee \{(k_i^{оп}(h_1) \cup k_i^{оп}(h_2)) \in [k_{ih}^v, k_{ib}^v]\}; \end{aligned} \quad (4.4)$$

- работы по проекту прекращаются как неперспективные, если

$$\begin{aligned} \{(k_i^{оп}(h_1) \cup k_i^{оп}(h_2)) \notin [k_{ih}^A; k_{ib}^A]\} \wedge \{(k_i^{оп}(h_1) \cup k_i^{оп}(h_2)) \notin [k_{ih}^B; k_{ib}^B]\}, \\ \forall i \in \{\text{э, бр, нд, ок}\}, \end{aligned} \quad (4.5)$$

где  $k_{ih}^v, (k_{ib}^v)$  – минимальное (максимальное) значение  $i$ -го компонента  $K_A^H(K_A^B)$  или  $K_B^H(K_B^B)$ ; знак  $\notin$  в (4.5) следует понимать в том смысле, что все значения интервала  $[k_{ih}^v, k_{ib}^v]$ ,  $v \in \{V_A \cup V_B\}$  «хуже» любого  $k_i^{оп}(h)$ ,  $h \in \{h_1, h_2\}$ .

На основе значений  $(K_v^H, \tilde{K}_v, K_v^B)$ ,  $v \in \{V_A, V_B\}$ ,  $K_{оп}(h)$ ,  $h \in \{h_1, h_2\}$  и соотношений (4.1) – (4.5) эксперты назначают тройственные оценки рискам  $(q_n^v, \tilde{q}^v, q_b^v)$  для реализации вариантов  $V_A$  и  $V_B$ . Эти риски используются для подсчёта общих рисков по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_1^v &= [1 - (1 - Q_{оп})(1 - \tilde{q}^v)] \cdot 100 \% ; \quad Q_{оп} = 1 - P_{оп} ; \\ Q_{1,j}^v &= [1 - (1 - Q_{оп})(1 - q_j^v)] \cdot 100 \% , \quad j \in [н, в], \quad v \in \{V_A, V_B\}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Используя полученные значения  $Q_1^A, Q_{1,н}^A, Q_{1,в}^A, \tilde{Q}_1^B, Q_{1,н}^B, Q_{1,в}^B$ , принимается решение по результатам выполненных работ на этапе формирования концепции.

Пусть выполняется условие (4.1) и  $q_n^A = 0,02, \tilde{q}^A = 0,03, q_b^A = 0,05, q_n^B = 0,04, \tilde{q}^B = 0,05, q_b^B = 0,07$ , тогда в соответствии с формулами (1.10)

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_1^A &= 1 - 0,95 \cdot 0,97 = 0,0785 \text{ (7,85 \%)}, \quad Q_{1,н}^A = 6,9 \% , \quad Q_{1,в}^A = 9,75 \% , \\ \tilde{Q}_1^B &= 9,75 \% , \quad Q_{1,н}^B = 8,8 \% , \quad Q_{1,в}^B = 11,65 \% . \end{aligned}$$

На основе рассмотрения рисков и учитывая, что стоимость работ следующего этапа незначительно зависит от числа рассматриваемых вариантов, ЛПП считает целесообразным продолжить исследования с  $V_1 = V_A \cup V_B$ .

Таким образом, для сеанса экспертизы ПР1 входами являлись множество вариантов  $V_1$  и информация  $K_A, K_B$ , управлением  $Q_1$  – методика принятия решений, ресурсами – персонал  $(S_{11})$  и АРМ проектировщика  $(S_{12})$ , выходом  $R_1$  – решение о множестве вариантов  $V_1$ .

$D_2$  – выполнение НИР с целью идентификации модели динамики, выявления связей между входными и выходными переменными, определения оптимальных режимов.

На основе спланированных, проведённых и обработанных экспериментов получены два вида модели динамики  $M1, M2$ . Модель  $M1$  – в форме одного дифференциального уравнения 3-го порядка, модель  $M2$  – многостадийная, отдельные стадии описываются различными дифференциальными уравнениями 2-го порядка. Точность модели  $M2$  несколько выше. С учётом  $M1$  и  $M2$  множество  $V_2$  представляет собой объединение четырёх альтернативных подмножеств:

$$V_2 = V_{AM1} \cup V_{AM2} \cup V_{BM1} \cup V_{BM2}.$$

Кроме того, выделены факторы, которые существенно влияют на показатель  $k_{бр}$ , вместе с тем не обнаружено факторов, имеющих тесную связь с компонентой  $k_{нд}$ . На основе этого пересматриваются значения  $K_{оп}(h_1)$ ,  $K_{оп}(h_2)$  компонента  $k_{нд}$  из массива ККП исключается. Новые значения  $K_{оп}(h)$ ,  $h \in \{h_1, h_2\}$  равны

$$h_1 : p(h_1) = 0,6, \quad K_{оп}(h_1) = (5; 8; 2),$$

$$h_2 : p(h_2) = 0,4, \quad K_{оп}(h_2) = (6; 10; 2,5).$$

Соответственно изменяется состав и значения компонентов массивов  $\tilde{K}_v, K_{v,н}, K_{v,в}$ ,  $v \in V_2$ .

Спецификация входов ( $I_2$ ), управлений ( $C_2$ ), механизмов ( $M_2$ ) и выходов ( $O_2$ ) для блока  $D_2$  содержит описание:

- входы – множество вариантов  $V_1$  и информация  $J_2$ ;
- управление  $C_2$  – методика идентификация модели;
- механизмы  $M_{21}$  – оборудование и приборы для проведения экспериментов,  $M_{22}$  – программный модуль идентификации моделей динамики,  $M_{23}$  – персонал;
- выход  $O_{21}$  – модели динамики,  $O_{22}$  – множество вариантов  $V_2$ .

**ПР<sub>2</sub>**. Основными задачами принятия решения на данном этапе являются сравнительный анализ подмножеств вариантов  $V_{AM1}, V_{AM2}, V_{BM1}, V_{BM2}$  и оценка для них значений риска.

Используя значения  $(K_{v,н}, \tilde{K}_v, K_{v,в})$ ,  $v \in V_2$  и  $K_{оп}(h)$ ,  $h \in \{h_1, h_2\}$ , методом Парето-оптимизации эксперты формируют множество  $V_2^n = \{V_{AM2} \cup V_{BM1} \cup V_{BM2}\}$  и по аналогии с ПР<sub>1</sub> (см. (4.10)) определяются риски  $\tilde{Q}_2^v, \tilde{Q}_{2,j}^v$ ,  $j \in \{н, в\}$ ,  $v \in V_2^n$ , которые для этих вариантов получились приемлемыми.

Таким образом, по результатам сеанса экспертизы ПР<sub>2</sub> число рассматриваемых на следующих этапах вариантов сокращается с 16 до 12. Спецификация входов,  $Q_2, S_2$  и  $R_2$  для ПР<sub>2</sub> содержит

- входы – модели динамики  $M1, M2$  и множество вариантов  $V_2^n$ ;
- управление  $Q_2$  – методики Парето – оптимизации и расчёта рисков;
- ресурсы  $S_2$  – персонал группы экспертов и программное обеспечение модуля принятие решений;
- выход  $R_2$  – подмножества вариантов  $V_{AM2}, V_{BM1}, V_{BM2}$ .

**Д<sub>3</sub>**. На этапе эскизного проектирования выполняется анализ оптимального управления (ОУ) с целью определения возможных видов функций ОУ и стратегий реализации управления, а также оценки величины эффекта энергосбережения.

Возможные значения эффекта энергосбережения для вариантов  $v \in V_2^n = V_{AM2} \cup V_{BM1} \cup V_{BM2}$  оцениваются с использованием программных модулей экспертной системы «Энергосберегающее управление динамическими объектами». Исследования производятся с учётом возможных изменений напряжения сети и различных видов продукции.

Спецификация компонентов  $I_3, C_3, M_3, O_3$  для  $D_3$  содержит:

- входы – варианты системы  $V_2^n$  и информация  $J_3$ ;
- управление  $C_3$  – методика анализа энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования;
- механизмы  $M_{31}$  – АРМ проектировщика с экспертной системой,  $M_{32}$  – персонал;
- выход  $O_{31}$  – алгоритмы управления, использующие программную стратегию (Пр), и алгоритмы с позиционной стратегией (Пз).

**ПР<sub>3</sub>**. Для принятия решения при завершении эскизного проекта заполнялась матрица эффективностей по основному компоненту, т.е. проценту экономии энергозатрат  $k_3$ . В табл. 4.1. занесены средние значения  $k_3$  для трех состояний функционирования:  $H_1$  – выпускается одна номенклатура продукции при стабильном напряжении сети;  $H_2$  – одна номенклатура продукции и возможны колебания (отключения) сети;  $H_3$  – выпускается продукция разных видов, что требует изменения заданий на температурный режим. Учитывая, что следующий этап технического проектирования требует значительных трудозатрат, необходимо существенно сократить число вариантов системы.

Данные табл. 4.1 обрабатываются разными методами – равной вероятности (критерий  $q_{рв}$ ), Гурвица ( $q_{г}$ ), Шаняевского ( $q_{ш}$ ) и максимина ( $q_{мм}$ ). Рассчитанные значения критериев (при весовом коэффициенте  $C = 0,5$  для  $q_{г}$  и  $q_{ш}$ ) приведены в правой части табл. 4.1.

**Таблица 4.1**

Вариант	Состояние функционирования			Значения критериев			
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$q_{рв}$	$q_{г}$	$q_{ш}$	$q_{мм}$
$V_{AM2} \text{ Пр} \cup V_{AM2} \text{ Пз}$	6	5	7	6	6	5,5	5
$V_{BM1} \text{ Пр} \cup V_{BM1} \text{ Пз}$	7	8	12	9	9,5	8	7
$V_{BM2} \text{ Пр} \cup V_{BM2} \text{ Пз}$	9	11	10	10	10	9,5	9

В соответствии с используемыми критериями наиболее предпочтительными следует считать варианты  $v \in \{V_{BM2Пp} \cup V_{BM2Пз}\}$ . Таким образом, число вариантов сокращается до четырёх (см. рис. 4.2).

Спецификация входов,  $Q_3, S_3, R_3$  для ПР<sub>3</sub> содержит:

- входы – алгоритмы управления для вариантов  $V_3 = V_2^П$ ;
- управление  $Q_3$  – методика принятия решений в условиях неопределённости;
- ресурсы  $S_3$  совпадают с  $S_2$ ;
- выход  $R_3$  – подмножество вариантов  $V_3^* = V_{BM2Пp} \cup V_{BM2Пз}$ .

Матрице эффективности (табл. 4.1) соответствует следующая матрица упущенных возможностей для определения критерия Сэвиджа (табл. 4.2)

В соответствии с используемыми критериями наиболее предпочтительными следует считать варианты  $v \in \{V_{AM2Пp} \cup V_{AM2Пз}\}$ .

Д<sub>4</sub>. В результате выполнения этапа технического проектирования должен быть разработан вариант системы управления, пригодной для окончательной реализации. Используя возможности экспертной системы и SCADA-системы Трейс-Моуд, разрабатывается полное алгоритмическое и программное обеспечение для вариантов СОУ  $v_{13} - v_{16}$  (рис. 4.3). Варианты  $v_{13}, v_{15}$ , использующие компьютер, обладают большими функциональными возможностями, чем варианты  $v_{14}, v_{16}$  (на контроллерах). Вместе с тем последние варианты дешевле, для них меньше срок окупаемости. Варианты  $v_{15}, v_{16}$  имеют несколько выше точность соблюдения технологического регламента.

Таблица 4.2

Вариант	Состояние функционирования			$r_{i \max}$	$q_c$
	$H_1$	$H_2$	$H_3$		
$V_{AM2Пp} \cup V_{AM2Пз}$	3	6	5	6	4
$V_{BM1Пp} \cup V_{BM1Пз}$	2	3	0	3	2,5
$V_{BM2Пp} \cup V_{BM2Пз}$	0	0	2	2	1

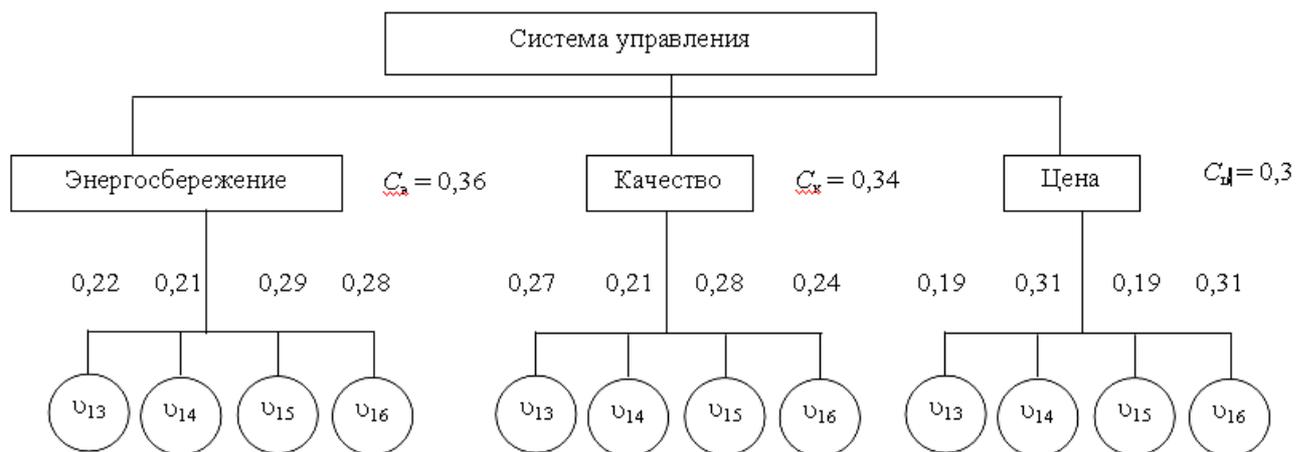


Рис. 4.3 Структура иерархии

Спецификация компонентов Д<sub>4</sub>:

- выход – варианты  $V_3^*$  и информация  $J_4$ ;
- управление  $C_4$  – методики проектирования алгоритмического и программного обеспечения;
- механизмы  $M_{41}$  – АРМ проектировщика с экспертной системой и SCADA-системой;  $M_{42}$  – персонал;
- выход  $O_4$  – документация на варианты  $v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}$ .

ПР<sub>4</sub>. Задача сеанса экспертизы – выбрать из четырёх вариантов один для практического внедрения. Для принятия решения использован метод иерархического анализа, в качестве критериев учитываются энергосбережение ( $k_3$ ), снижение доли брака ( $k_{op}$ ) и затраты ( $k_{ок}$ ). Структура иерархии и результаты промежуточных расчётов для этого случая при-

ведены на рис. 4.3. Расчёт рейтингов вариантов показывает, что  $R(v_{13})=0,228$ ,  $R(v_{14})=0,24$ ,  $R(v_{15})=0,2566$ ,  $R(v_{16})=0,2754$ .

Таким образом, в качестве оптимального варианта выбирается вариант  $v_{16}$ , в котором используется модель  $M_2$ , позиционная стратегия (Пз) и техническое средство – контроллер.

Спецификация компонентов ПР<sub>4</sub>: выход – документация на варианты  $v_{13}$ ,  $v_{14}$ ,  $v_{15}$ ,  $v_{16}$ ; управление  $Q_4$  – методика принятия решений в условиях определённости; ресурсы  $S_4$  – совпадает с  $S_2$ ; выход  $R_4$  – документация на вариант  $v_{16}$ .

Таким образом, рассмотренный пример показывает, что использование принципа динамической вариантности расширяет возможности управления высокотехнологичными проектами за счёт перераспределения состава альтернатив на стадиях жизненного цикла, более полного использования поступающей информации и эволюции методов принятия решений по мере уменьшения неопределённости при проектировании.

#### 4.2. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

Пусть из множества проектов  $V = \{v_1, \dots, v_7\}$  предварительной экспертизой выделено подмножество предпочтительных  $V^n = \{v_5, v_7\}$  проектов. Требуется, последовательно привлекая дополнительных экспертов, определить один проект  $v^*$  для финансирования, имеющий максимальную усреднённую апостериорную вероятность и удовлетворяющий условию (3.4) при  $m = 2$ . Зададим следующие начальные (априорные) вероятности гипотез:

$$P(H_5^0) = P(H_7^0) = 0,25; \quad P(H_i^0) = 0,1; \quad i = \overline{1, 4}; 6. \quad (4.7)$$

Пусть событие  $A_{(5)}$  заключается в том, что очередной эксперт поставил рассматриваемый проект  $v_5$  на 1-е или 2-е места и

$$P(A_{(5)} / H_5^0) = 0,8, \quad P(A_{(5)} / H_i^0, i \neq 5) = 0,6. \quad (4.8)$$

Результаты работы очередного эксперта (эксперт 1) приведены в табл. 4.3. Из таблицы видно, что эксперт 1 поставил вариант  $v_5$  на 3-е место, т.е. произошло событие  $\bar{A}_{(5)}$ , противоположное событию  $A_{(5)}$  и  $P(\bar{A}_{(5)} / H_5) = 1 - P(A_{(5)} / H_5) = 0,2$ .

Расчёт апостериорной вероятности гипотезы  $H_5^1$  производится по формуле (3.2), т.е.

$$P(H_5^1 / \bar{A}_{(5)}) = \frac{P(\bar{A}_{(5)} / H_5)P(H_5^0)}{\sum_{i=1}^7 P(\bar{A}_{(5)} / H_i)P(H_i^0)} \approx 0,143.$$

Верхний индекс 1 в  $P(H_5^1 / \bar{A}_{(5)})$  указывает на результат, полученный после высказываний первым экспертом (результат 1-й итерации при использовании формулы Байеса).

Апостериорные вероятности для других гипотез соответственно равны

$$P(H_7^1 / \bar{A}_{(5)}) = \frac{P(\bar{A}_{(5)} / H_7)P(H_7^0)}{\sum_{i=1}^7 P(\bar{A}_{(5)} / H_i)P(H_i^0)} \approx 0,286;$$

Таблица 4.3

Варианты (проекты)	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$
Ранги эксперта 1	1	3	2	3	3	1	3
События	$A_{(1)}$	$\bar{A}_{(2)}$	$A_{(3)}$	$\bar{A}_{(4)}$	$\bar{A}_{(5)}$	$A_{(6)}$	$\bar{A}_{(7)}$

$$P(H_i^1 / \bar{A}_{(5)}) = \frac{P(\bar{A}_{(5)} / H_i)P(H_i^0)}{\sum_{i=1}^7 P(\bar{A}_{(5)} / H_i)P(H_i^0)} \approx 0,114, \quad i = 1, 2, 3, 4, 6.$$

Предположим, что событие  $A_{(7)}$  характеризует оптимальность варианта  $v_7$ . В нашем случае имеет место  $\bar{A}_{(7)}$  (см. табл. 4.3) и при правдоподобиях, аналогичных (4.8), т.е.

$$P(A_{(7)} / H_5) = 0,8, \quad P(A_{(7)} / H_i, i \neq 7) = 0,6,$$

апостериорные вероятности равны

$$P(H_7 / \bar{A}_{(7)}) = \frac{P(\bar{A}_{(7)} / H_7)P(H_7^0)}{\sum_{i=1}^7 P(\bar{A}_{(7)} / H_i)P(H_i^0)} \approx 0,143;$$

$$P(H_5 / \bar{A}_7) \approx 0,286, \quad P(H_i / \bar{A}_7) \approx 0,114, \quad i = 1, 2, 3, 4, 6.$$

В целях большей достоверности результатов следует рассмотреть и другие гипотезы об оптимальности вариантов. Рассмотрим их схематично.

Событие  $A_{(1)}$  характеризует оптимальность варианта  $v_1$  и при  $P(A_{(1)} / H_1) = 0,8, \quad P(A_{(1)} / H_i, i \neq 1) = 0,6$

$$P(H_1^1 / A_{(1)}) = \frac{P(A_{(1)} / H_1)P(H_1^0)}{\sum_{i=1}^7 P(A_{(1)} / H_i)P(H_i^0)} \approx 0,129;$$

$$P(H_5^1 / A_{(1)}) = P(H_7^1 / A_{(1)}) = 0,242;$$

$$P(H_2^1 / A_{(1)}) = P(H_3^1 / A_{(1)}) = P(H_4^1 / A_{(1)}) = P(H_6^1 / A_{(1)}) \approx 0,097.$$

Аналогично выполняются расчёты для событий  $A_{(j)}, \quad j = 2, 3, 4$ . Результаты расчётов представлены в табл. 4.4.

В нижней строке таблицы приведены усреднённые апостериорные вероятности, рассчитанные по формуле

$$\bar{P}_1(H_i / \mathcal{A}) = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 P(H_i^1 / A_{(i)}), \quad \mathcal{A} = \{A_{(i)}, i = \overline{1,7}\}.$$

**Таблица 4.4**

Вероятности	Гипотезы						
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$
$P(H_i^0)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25	0,1	0,25
$P(H_i^1 / A_{(1)})$	0,129	0,097	0,097	0,097	0,242	0,097	0,242
$P(H_i^1 / \bar{A}_{(2)})$	0,105	0,053	0,105	0,105	0,263	0,105	0,263
$P(H_i^1 / A_{(3)})$	0,097	0,097	0,129	0,097	0,242	0,097	0,242
$P(H_i^1 / \bar{A}_{(4)})$	0,105	0,105	0,105	0,053	0,263	0,105	0,263
$P(H_i^1 / \bar{A}_{(5)})$	0,114	0,114	0,114	0,114	0,143	0,114	0,286
$P(H_i^1 / A_{(6)})$	0,097	0,097	0,097	0,097	0,242	0,129	0,242
$P(H_i^1 / \bar{A}_{(7)})$	0,114	0,114	0,114	0,114	0,286	0,114	0,143
$\bar{P}_1(H_i / \mathcal{A})$	0,109	0,097	0,109	0,097	0,24	0,109	0,24

Сравнение их с априорными вероятностями гипотез  $P_0(H_i)$  показывает, что средние апостериорные вероятности изменились незначительно, причём вероятности гипотез об оптимальности  $v_5$  и  $v_7$  уменьшились и возросли вероятности для вариантов  $v_1, v_3, v_6$ . Таким образом, высказываний эксперта на первой итерации оказалось недостаточно для принятия решения.

Результаты работы эксперта 2 (на второй итерации) представлены в табл. 4.5.

Используя в качестве априорных вероятностей результаты предыдущего этапа и правдоподобия (4.8) для события  $A_{(5)}$  (вариант  $v_5$  имеет ранг, равный 1), получаем:

$$P(H_5^2 / A_{(5)}) = \frac{P(A_{(5)} / H_5)P(H_5^1 / \bar{A}_{(5)})}{\sum_{i=1}^7 P(A_{(5)} / H_i)P(H_i^1 / \bar{A}_{(5)})} = 0,182; \quad (4.9)$$

$$P(H_7^2 / A_{(5)}) = \frac{P(A_{(5)} / H_7)P(H_7^1 / \bar{A}_{(5)})}{\sum_{i=1}^7 P(A_{(5)} / H_i)P(H_i^1 / \bar{A}_{(5)})} \approx 0,273; \quad (4.10)$$

$$P(H_i^2 / A_{(5)}) \approx 0,109, \quad i = 1, 2, 3, 4, 6.$$

Аналогично рассчитываются апостериорные вероятности для событий  $A_{(7)}$ ,  $j = 1, 2, 3, 4, 6, 7$ . Результаты расчетов по высказываниям второго эксперта представлены в табл. 4.6. Из таблицы видно, что вероятности  $\bar{P}_2(H_i / \mathcal{A})$  близки к априорным, поэтому требуется привлечение еще одного эксперта.

Таблица 4.5

Варианты	$\upsilon_1$	$\upsilon_2$	$\upsilon_3$	$\upsilon_4$	$\upsilon_5$	$\upsilon_6$	$\upsilon_7$
Ранги эксперта 2	3	3	4	1	1	5	2
События	$\bar{A}_{(1)}$	$\bar{A}_{(2)}$	$\bar{A}_{(3)}$	$A_{(4)}$	$A_{(5)}$	$\bar{A}_{(6)}$	$A_{(7)}$

Таблица 4.6

Вероятности	Гипотезы						
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$
$P(H_i^2 / \bar{A}_{(1)})$	0,069	0,104	0,104	0,104	0,259	0,104	0,259
$P(H_i^2 / \bar{A}_{(2)})$	0,108	0,027	0,108	0,108	0,27	0,108	0,27
$P(H_i^2 / \bar{A}_{(3)})$	0,104	0,104	0,069	0,104	0,259	0,104	0,259
$P(H_i^2 / A_{(4)})$	0,103	0,103	0,103	0,069	0,258	0,103	0,258
$P(H_i^2 / A_{(5)})$	0,109	0,109	0,109	0,109	0,182	0,109	0,273
$P(H_i^2 / \bar{A}_{(6)})$	0,104	0,104	0,104	0,104	0,259	0,069	0,259
$P(H_i^2 / A_{(7)})$	0,109	0,109	0,109	0,109	0,273	0,109	0,182
$\sum_j P(H_i^2 / A_{(j)})$	0,706	0,66	0,706	0,706	1,76	0,706	1,76
$\bar{P}_2(H_i / \mathcal{A})$	0,101	0,094	0,101	0,101	0,251	0,101	0,251

Таблица 4.7

Варианты	$\upsilon_1$	$\upsilon_2$	$\upsilon_3$	$\upsilon_4$	$\upsilon_5$	$\upsilon_6$	$\upsilon_7$
Ранги эксперта 3	5	2	3	4	1	4	3
События	$\bar{A}_{(1)}$	$A_{(2)}$	$\bar{A}_{(3)}$	$\bar{A}_{(4)}$	$A_{(5)}$	$\bar{A}_{(6)}$	$\bar{A}_{(7)}$

Результаты высказываний эксперта 3 представлены в табл. 4.7.

При расчёте апостериорных вероятностей здесь в качестве априорных используются значения  $P_2(H_i) = P(H_i^2 / A_{(j)})$ , взятые из табл. 4.6.

Для правдоподобия (4.8) рассчитанные значения апостериорных вероятностей и усреднённые вероятности приведены в табл. 4.8.

Таким образом, после высказываний третьего эксперта максимальное значение средней вероятности соответствует гипотезе  $H_5$  ( $\bar{P}_3(H_5 / \mathcal{A}) = 0,267$ ), в качестве оптимального варианта следует принять  $\upsilon_5$ .

Рассматривая в качестве  $\upsilon_a$  вариант  $\upsilon_5$  и в качестве  $\upsilon_b - \upsilon_6$ , при  $k = 3, k_a = 2, k_b = 1$  на основе формулы (3.7) получаем  $m = 2$ , а согласно (3.5)  $P_a = 2/3, P_b = 1/3$ . Для этих значений выполняется неравенство

$$\bar{P}_{3+2}(H(\upsilon_5) / \mathcal{A}) > \bar{P}_{3+2}(H(\upsilon_7) / \mathcal{A})$$

с вероятностью

$$P_2(a) = 1 - P_2(b) - P_2(a, b),$$

где  $P_2(a, b)$  – вероятность того, что при  $m = 2$  средние апостериорные вероятности для вариантов  $\upsilon_a$  и  $\upsilon_b$  примерно сравняются.

Используя формулы (3.8), (3.9), получаем

$$P_2(b) = (1 - P_a)^2 P_b^2 \approx 0,012;$$

$$P_2(a, b) = 2P_a(1 - P_a)P_b^2 \approx 0,036;$$

$$P_2(a) \approx 0,95,$$

Таблица 4.8

Вероятности	Гипотезы						
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$
$P(H_i^3 / \bar{A}_{(1)})$	0,36	0,108	0,108	0,108	0,268	0,108	0,268
$P(H_i^3 / A_{(2)})$	0,107	0,036	0,107	0,107	0,268	0,107	0,268
$P(H_i^3 / \bar{A}_{(3)})$	0,108	0,108	0,036	0,108	0,268	0,108	0,268
$P(H_i^3 / \bar{A}_{(4)})$	0,107	0,107	0,107	0,036	0,267	0,107	0,267
$P(H_i^3 / A_{(5)})$	0,103	0,103	0,103	0,103	0,229	0,103	0,257
$P(H_i^3 / \bar{A}_{(6)})$	0,108	0,108	0,108	0,108	0,268	0,036	0,268
$P(H_i^3 / \bar{A}_{(7)})$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,3	0,12	0,1
$\bar{P}_3(H_i / \mathcal{A})$	0,098	0,099	0,099	0,099	0,267	0,098	0,242

т.е. дополнительное привлечение двух экспертов с вероятностью 0,95 не изменит «лидерства» проекта  $\upsilon_5$ , поэтому его можно считать оптимальным, и больше экспертов не привлекать.

Следует заметить, что при обработке табл. 4.3, 4.5, 4.7 обычным способом коэффициент конкордации имеет очень низкое значение (0,094) и естественно мнения экспертов о всех вариантах считаются не согласованными (оценка критерия «хи-квадрат» 1,69, а табличное 12,59). Вместе с тем байесовский подход позволяет сделать достаточно надёжные выводы о предпочтительном варианте.

#### 4.3. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ШОРТЛИФА-БЬЮКЕНЕНА

Пусть рассматриваются два альтернативных варианта инвестирования проектов:  $v_1$  – модернизация выпускаемого изделия,  $v_2$  – разработка нового изделия.

Для принятия решения учитываются следующие основные факторы:  $x_1$  – ожидаемое повышение показателей безотказности;  $x_2$  – ожидаемое увеличение срока службы;  $x_3$  – требуемый объём финансовых вложений;  $x_4$  – требуемый объём трудозатрат;  $x_5$  – ожидаемое снижение материалоемкости и энергоёмкости;  $x_6$  – ожидаемые сроки завершения работ.

Сформулированы следующие процедурные правила.

П1: Если  $v_j$  обеспечивает  $x_1$  и  $x_2$ , то вариант  $v_j$  будет принят.

П2: Если  $v_j$  выполняют условия для  $x_3$  или  $x_4$ , то вариант  $v_j$  будет принят.

П3: Если  $v_j$  обеспечивает  $x_5$  и  $x_6$ , то вариант  $v_j$  будет принят.

Усреднённые доли уверенности  $\tilde{p}(v_j/x_i)$  принятия варианта  $v_j$  на основании данных  $x_i$ , полученных от экспертов, и результаты расчёта  $MB[v_j, x_i]$ ,  $MD[v_j, x_i]$ ,  $CF[v_j, x_i]$  для априорной вероятности  $p(v_j) = 0,5$  представлены в табл. 4.9.

При расчёте  $MB[v_j, x_i]$ ,  $MD[v_j, x_i]$ ,  $CF[v_j, x_i]$  использованы соотношения (3.13), (3.14), (3.18).

В табл. 4.10 приведены результаты расчёта показателей  $MB$ ,  $MD$ ,  $CF$  для сложных гипотез, соответствующих сформулированным правилам с использованием соотношений (3.27 – 3.30).

**Таблица 4.9**

$x_i$	$v_1$			$v_2$				
	$\tilde{p}(v_1/x_i)$	$MB[v_1, x_i]$	$MD[v_1, x_i]$	$CF[v_1, x_i]$	$\tilde{p}(v_2/x_i)$	$MB[v_2, x_i]$	$MD[v_2, x_i]$	$CF[v_2, x_i]$
$x_1$	0,3	0	0,4	-0,4	0,8	0,6	0	0,6
$x_2$	0,4	0	0,2	-0,2	0,9	0,8	0	0,8
$x_3$	0,6	0,2	0	0,2	0,5	0	0	0
$x_4$	0,6	0,2	0	0,2	0,6	0,2	0	0,2
$x_5$	0,4	0	0,2	-0,2	0,6	0,2	0	0,2
$x_6$	0,6	0,2	0	0,2	0,6	0,2	0	0,2

**Таблица 4.10**

Правило	$v_1$			$v_2$		
	$MB$	$MD$	$CF$	$MB$	$MD$	$CF$
П1 ( $x_1 \wedge x_2 \sim y_1$ )	0	0,4	-0,4	0,6	0	0,6
П2 ( $x_3 \vee x_4 \sim y_2$ )	0,2	0	0,2	0,2	0	0,2
П3 ( $x_5 \wedge x_6 \sim y_3$ )	0	0,2	-0,2	0,2	0	0,2

Последовательная интеграция значений  $MB$  и  $MD$  по всем трём продукционным правилам производится с помощью формул:

$$\begin{aligned}
MB[v_j; y_1, y_2] &= MB[v_j; y_1] + MB[v_j; y_2](1 - MB[v_j; y_1]); \\
MD[v_j; y_1, y_2] &= MD[v_j; y_1] + MD[v_j; y_2](1 - MD[v_j; y_1]); \\
MB[v_j; y_1, y_2, y_3] &= MB[v_j; y_1, y_2] + MB[v_j; y_3](1 - MB[v_j; y_1, y_2]); \\
MD[v_j; y_1, y_2, y_3] &= MD[v_j; y_1, y_2] + MD[v_j; y_3](1 - MD[v_j; y_1, y_2]).
\end{aligned}$$

Итоговые результаты вычислений представлены в табл. 4.11.

Таким образом, при использовании значений  $\tilde{p}(v_j/x_i)$  предпочтительнее вариант решения  $v_2 = \tilde{v}^*$ , так как

$$MB[v_2; y_1, y_2, y_3] = 0,808 > MB[v_1; y_1, y_2, y_3] = 0,2$$

и

$$CF[v_2; y_1, y_2, y_3] = 0,808 > CF[v_1; y_1, y_2, y_3] = -0,32.$$

Таблица 4.11

Сложные гипотезы	v <sub>1</sub>			v <sub>2</sub>		
	MB	MD	CF	MB	MD	CF
[v <sub>j</sub> ; y <sub>1</sub> , y <sub>2</sub> ]	0,2	0,4	-0,2	0,76	0	0,76
[v <sub>j</sub> ; y <sub>1</sub> , y <sub>2</sub> , y <sub>3</sub> ]	0,2	0,52	-0,32	0,808	0	0,808

#### 4.3.1. Пример использования модифицированного алгоритма

Исследуем надёжность полученного решения на основе интервальных значений  $[p_n, p_b]$  из табл. 4.12. Для этого  $\tilde{p}(v_j/x_i)$  используем значения  $p_{гр}(\tilde{v}^* = v_2/x_i)$  и  $p_{гр}(v_1/x_i)$ , результаты вычислений приведены в табл. 4.13 – 4.15.

Так как  $MB[v_2; y_1, y_2, y_3] > MB[v_1; y_1, y_2, y_3]$ , т.е. мера уверенности варианта  $v_2$  превышает меру уверенности  $v_1$  даже при использовании граничных, наиболее благоприятных значений условных вероятностей свидетельств, то вариант  $v_2$  является предпочтительным с коэффициентом надёжности  $\mathcal{N}=1$ , учитывающим высказывания всех экспертов.

Таким образом, методика повышения надёжности принимаемых управленческих решений с использованием МШБ заключается в следующем.

1. По результатам высказываний экспертов определяются медианные значения условных вероятностей  $\tilde{p}(v_j/x_i)$  и интервальные значения  $[p_n(v_j/x_i), p_b(v_j/x_i)]$ .

2. Используя значения  $\tilde{p}(v_j/x_i)$ , рассчитывается условно оптимальный вариант решения  $\tilde{v}^*$ .

3. Полученный вариант  $\tilde{v}^*$  оценивается на надёжность (отказоустойчивость). Для этого в расчете вместо  $\tilde{p}(v_j/x_i)$  используются граничные значения – неблагоприятные для  $\tilde{v}^*$  и благоприятные для альтернативных вариантов. Если при этом вариант  $\tilde{v}^*$  сохраняется как оптимальный, то принимаемое решение считается абсолютно надёжным. В противном случае рассчитываются показатели надёжности  $N_1, N_2$  и т.д., на основе которых принимается окончательное решение.

#### 4.4. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ДЕМПСТЕРА-ШАФЕРА

В качестве примера использования метода Демпстера-Шафера за основу возьмём результаты, содержащиеся в последней строке табл. 4.8 при выборе варианта проекта для финансирования. Варианты проектов различаются приобретаемыми программными продуктами.

Таблица 4.12

Свидетельство	Варианты решения									
	$\nu_1$					$\nu_2$				
$x_i$	$p_1\left(\frac{\nu_1}{x_i}\right)$	$p_2\left(\frac{\nu_1}{x_i}\right)$	$p_3\left(\frac{\nu_1}{x_i}\right)$	$\tilde{p}\left(\frac{\nu_1}{x_i}\right)$	$[p_{н}, p_{в}]$	$p_1\left(\frac{\nu_2}{x_i}\right)$	$p_2\left(\frac{\nu_2}{x_i}\right)$	$p_3\left(\frac{\nu_2}{x_i}\right)$	$\tilde{p}\left(\frac{\nu_2}{x_i}\right)$	$[p_{н}, p_{в}]$
$x_1$	0,3	0,5	0,2	0,3	[0,2; 0,5]	0,85	0,8	0,8	0,8	[0,8; 0,85]
$x_2$	0,5	0,4	0,3	0,3	[0,3; 0,5]	0,9	0,8	0,9	0,9	[0,8; 0,9]
$x_3$	0,6	0,7	0,4	0,6	[0,4; 0,7]	0,4	0,5	0,5	0,5	[0,4; 0,5]
$x_4$	0,6	0,7	0,6	0,6	[0,6; 0,7]	0,6	0,6	0,55	0,6	[0,55; 0,6]
$x_5$	0,4	0,6	0,3	0,4	[0,3; 0,6]	0,6	0,7	0,6	0,6	[0,6; 0,7]
$x_6$	0,4	0,6	0,7	0,6	[0,4; 0,7]	0,5	0,6	0,6	0,5	[0,5; 0,6]

Таблица 4.13

$x_i$	$\nu_1$				$\nu_2$			
	$p_{гр}(\nu_1/x_i)$	MB	MD	CF	$p_{гр}(\nu_2/x_i)$	MB	MD	CF
$x_1$	0,5	0	0	0	0,8	0,6	0	0,6
$x_2$	0,5	0	0	0	0,8	0,6	0	0,6
$x_3$	0,7	0,4	0	0,4	0,4	0	0,2	-0,2
$x_4$	0,7	0,4	0	0,4	0,55	0,1	0	0,1
$x_5$	0,6	0,2	0	0,2	0,6	0,2	0	0,2
$x_6$	0,7	0,4	0	0,4	0,5	0	0	0

Таблица 4.14

Правило	$\nu_1$			$\nu_2$		
	MB	MD	CF	MB	MD	CF
П1 ( $x_1 \wedge x_2 \sim y_1$ )	0	0	0	0,6	0	0,6
П2 ( $x_3 \vee x_4 \sim y_2$ )	0,4	0	0,4	0,1	0	0,1
П3 ( $x_5 \wedge x_6 \sim y_3$ )	0,2	0	0,2	0	0	0

Таблица 4.15

Сложные гипотезы	$\nu_1$			$\nu_2$		
	MB	MD	CF	MB	MD	CF

$\{v_j; y_1, y_2\}$	0,4	0	0,4	0,64	0	0,64
$\{v_j; y_1, y_2, y_3\}$	0,52	0	0,52	0,64	0	0,64

Высказывания экспертов, рассматриваемые как первая часть свидетельств, поддерживают гипотезы о перспективности вариантов  $v_5$  и  $v_7$ , т.е.  $m_1\{H_5\}=0,27$ ,  $m_1\{H_7\}=0,24$ , будем учитывать также  $m_1\{H_4\}=0,1$  и  $m_1\{Q\}=0,48$ . Пусть получены данные (новое свидетельство), что для вариантов  $v_4$  и  $v_7$  программные продукты можно приобрести на условиях аутсорсинга со степенью доверия 0,7, т.е.  $m_2\{H_4, H_7\}=0,7$  и  $m_2\{Q\}=0,3$ .

Для использования правила Демпстера с целью объединения функций доверия для двух независимых источников свидетельств формируются подмножества

$$x = \{H_5, H_7, H_4, Q_x\}, \quad y = \{\{H_4, H_7\}, Q_y\}, \quad z = \{H_4, H_5, H_7, \{H_4, H_7\}, Q_z\}.$$

Объединение свидетельств  $m_1$  и  $m_2$  без учёта нормализации приведено в табл. 4.16.

Так как знаменатель в формуле Демпстера для рассматриваемого примера равен  $1 - \sum_{x \cap y = \emptyset} m_1(x)m_2(y) = 1 - m_3\{\emptyset\} = 0,811$ , то меры доверия составляющих множества  $Z$ , полученные по результатам объединения двух свидетельств, имеют следующие значения:

$$m_3\{H_7\} = \frac{0,168 + 0,072}{0,811} = 0,296;$$

$$m_3\{H_5\} = \frac{0,081}{0,811} = 0,1;$$

$$m_3\{H_4\} = \frac{0,07 + 0,03}{0,811} = 0,123;$$

$$m_3\{H_4, H_7\} = \frac{0,273}{0,811} = 0,337;$$

$$m_3\{Q_z\} = \frac{0,117}{0,811} = 0,144.$$

Таким образом, учёт второго свидетельства существенно повышает меру доверия к гипотезе  $H_7$ , т.е. вариант проекта  $v_7$  на основе рассматриваемых свидетельств следует считать оптимальным.

Таблица 4.16

$m_1$	$m_2$	$m_3$
$m_1\{H_5\}=0,27$	$m_2\{H_4, H_7\}=0,7$	$m_3\{\emptyset_1\}=0,189$
$m_1\{H_7\}=0,24$	$m_2\{H_4, H_7\}=0,7$	$m_3\{H_7\}=0,168$
$m_1\{H_4\}=0,1$	$m_2\{H_4, H_7\}=0,7$	$m_3\{H_7\}=0,07$
$m_1\{Q_x\}=0,39$	$m_2\{H_4, H_7\}=0,7$	$m_3\{H_4, H_7\}=0,273$
$m_1\{H_5\}=0,27$	$m_2\{Q_y\}=0,3$	$m_3\{H_5\}=0,081$
$m_1\{H_7\}=0,24$	$m_2\{Q_y\}=0,3$	$m_3\{H_7\}=0,072$
$m_1\{H_4\}=0,1$	$m_2\{Q_y\}=0,3$	$m_3\{H_4\}=0,03$
$m_1\{Q_x\}=0,39$	$m_2\{Q_y\}=0,3$	$m_3\{Q_z\}=0,117$

Далее, для демонстрации использования формул (3.38) – (3.43), положим, что для второго свидетельства  $C_2 = 1,5$ . В этом случае:

$$d = \frac{1,5^{-1} m_2 \{H_4, H_7\}}{1 - 1,5^{-1} m_2 \{Q_y\}} = 0,583;$$

$$m_2 (\{H_4, H_7\} / C_2) = \frac{0,7}{0,7 + 0,583 \cdot 0,3} = 0,8;$$

$$m_2 (Q / C_2) = \frac{0,583 \cdot 0,3}{0,7 + 0,583 \cdot 0,3} = 0,2.$$

При использовании скорректируемых значений  $m_2$  окончательно получаем:

$$1 - \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X) m_2(Y / C_2) = 0,784;$$

$$m_3 \{H_7\} = \frac{0,192 + 0,048}{0,784} = 0,306;$$

$$m_3 \{H_5\} = \frac{0,054}{0,784} = 0,07;$$

$$m_3 \{H_4\} = \frac{0,08 + 0,02}{0,784} = 0,126;$$

$$m_3 \{H_4, H_7\} = \frac{0,312}{0,784} = 0,398;$$

$$m_3 \{Q_z\} = \frac{0,078}{0,784} = 0,1.$$

Если же  $C_2 = 0,8$ , то

$$d = \frac{0,8 m_2 \{Q_y\}}{1 - 0,8 m_2 \{H_4, H_7\}} = \frac{0,24}{1 - 0,56} \approx 0,55;$$

$$m_2 (\{H_4, H_7\} / C_2) = \frac{0,55 \cdot 0,7}{0,55 \cdot 0,7 + 0,3} = 0,562;$$

$$m_2 (Q / C_2) = \frac{0,3}{0,55 \cdot 0,7 + 0,3} = 0,438;$$

$$1 - \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X) m_2(Y / C_2) = 1 - 0,152 = 0,848.$$

$$m_3 \{H_7\} = \frac{0,135 + 0,105}{0,848} = 0,283;$$

$$m_3 \{H_5\} = \frac{0,118}{0,848} = 0,140;$$

$$m_3 \{H_4\} = \frac{0,0562 + 0,0438}{0,848} = 0,118;$$

$$m_3 \{H_4, H_7\} = \frac{0,219}{0,848} = 0,258;$$

$$m_3 \{Q_z\} = \frac{0,171}{0,848} = 0,201.$$

Таким образом, изменение коэффициента достоверности информации в достаточно широких пределах (от 0,8 до 1,5) не изменяет сделанного вывода о предпочтительности варианта  $\cup_7$ .

#### 4.5. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОЭТАПНОЙ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ СРЕДНЕГО КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

Руководство банка, принимая решения по управлению его деятельностью на некотором промежутке времени, в пределах которого реализуется одна из возможных стратегий развития банка, характеризуемая различной степенью неопределённости внешней среды, опирается на собственный опыт, интуицию экспертов и эвристики. Это помогает вырабатывать более или менее приемлемые управленческие решения, однако, невозможность перебрать все возможные варианты управляющих стратегий, а также неопределённость, сопровождающая процесс принятия решений, не позволяют говорить об оптимальности принимаемых решений. Естественно, что задачу выработки и принятия управленческих решений на интервале времени следует рассматривать как задачу выбора ЛПР среди возможных или оптимальных альтернатив. При этом очевидно, что за ЛПР, по-прежнему, остаются риски, связанные с невозможностью формального учёта всей имеющейся неопределённости. Создаваемая ИС ППР должна рассчитать для конкретных условий оптимальную стратегию управления деятельностью банка в виде программной траектории, которая предлагается ЛПР для осмысления и возможной последующей реализации.

Для решения оптимизационных задач в ИС ППР строится модель коммерческой деятельности банка на интервале времени  $[0, T]$ , где  $T = 1, 2, \dots, N$  (лет). В качестве основных стратегий управления в банке являются кредитно-инвестиционная и депозитно-аккумуляционная стратегии, которые, в решающей степени, определяют его поведение на тех или иных сегментах финансового рынка. На основе системного подхода деятельность банка исследована как сложная система и представлена в виде многостадийного (многоэтапного) объекта управления, где под стадией понимается один календарный квартал. В частности, для интервала  $[0, T = 1]$ , т.е. продолжительностью в один год, объект управления выглядит, как показано на рис. 4.4.

Входными параметрами объекта для  $t$ -го квартала являются: объёмы фондов ( $\bar{F}_{t-1}$ ), объёмы активов ( $\bar{A}_{t-1}$ ) и депозитов ( $\bar{D}_{t-1}$ ) банка, являющиеся выходными для  $(t-1)$ -го квартала, а также показатели ( $\bar{D}_i, i \in [t - \bar{\tau}_D, t - 1]$ ,  $\bar{A}_i, i \in [t - \bar{\tau}_A, t - 1]$ ,  $U_i^D, i \in [t - \bar{\tau}_D, t - 1]$ ,  $U_i^A, i \in [t - \bar{\tau}_A, t - 1]$ ), характеризующие на определённую глубину  $\bar{\tau}$  предысторию деятельности банка, которую необходимо учитывать. Влияние внешней среды учитывается путём введения индексов  $\bar{I}_t$  и коэффициентов  $\bar{k}_t^D, \bar{k}_t^A, \bar{k}_t^F$ , задаваемых аналитиками банка. Выходными параметрами в  $t$ -м квартале являются рассчитанные значения объёмов фондов ( $\bar{F}_t$ ), активов ( $\bar{A}_t$ ), депозитов ( $\bar{D}_t$ ) и показателей деятельности ( $\bar{Y}_t$ ), которые одновременно выступают в качестве входных для  $(t+1)$ -го квартала. Управляющие воздействия  $\bar{U} = (\bar{U}^D, \bar{U}^A)$ , в качестве которых выступают процентные ставки по депозитам и кредитам, а также доли продажи и покупки ценных бумаг, вырабатываются ЛПР и представляют собой совокупность кусочно-постоянных во времени программных траекторий, отдельные участки которых соответствуют управлениям по кварталам.

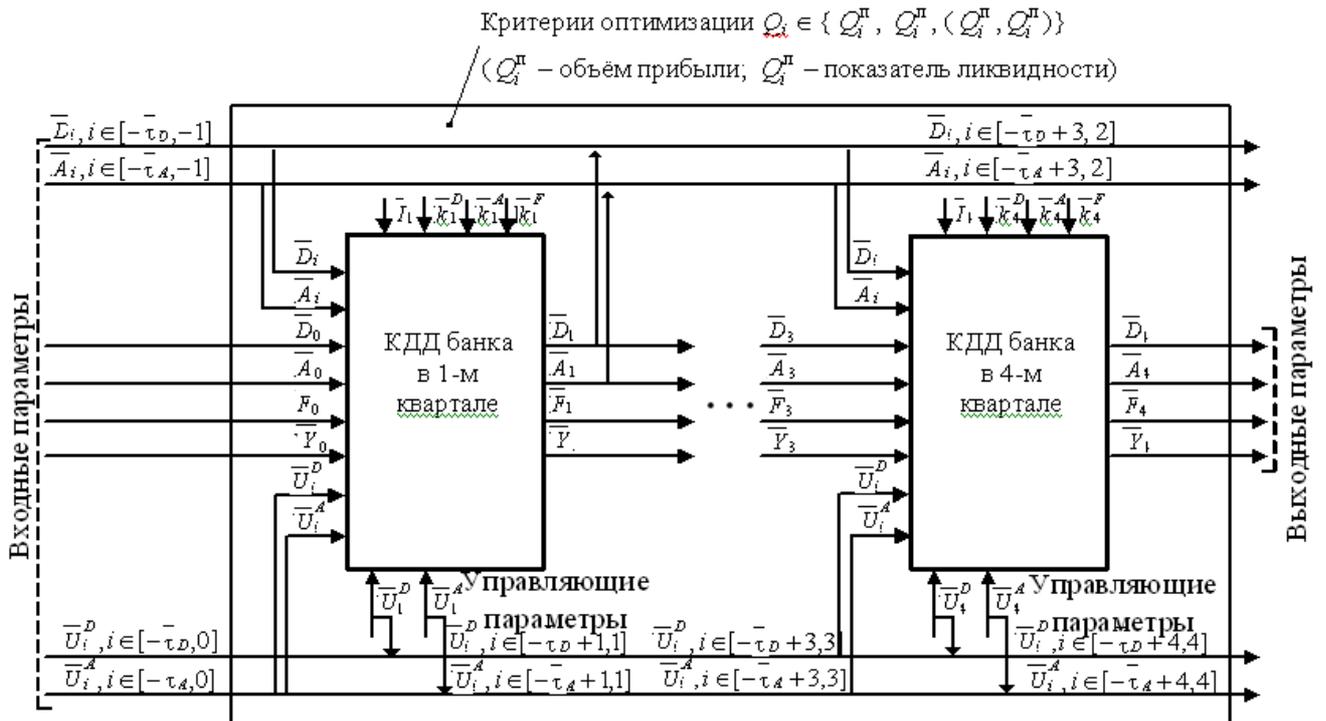


Рис. 4.4. Деятельность банка на  $[0, T]$  в виде многоэтапного объекта управления ( $T = 1$  год)

Обоснованы допущения, принимаемые при построении модели деятельности банка на интервале времени  $[0, T]$ , которая пригодна для решения задач оптимизации. Модель построена по блочному принципу и представляет собой сложную систему алгебраических нелинейных уравнений, решаемую с помощью разработанного алгоритма. Эта система описывает квартальную депозитно-аккумуляционную и кредитно-инвестиционную деятельность банка, в которой на определённую глубину учтена предыстория банка.

Разработано алгоритмическое обеспечение, составляющее основу процедурной модели ИС ППР, которая позволяет руководству банка принимать более обоснованные решения, а, следовательно, сделать более эффективной коммерческую деятельность банка на заданном интервале времени.

Задачи управления деятельностью банка на интервале времени  $[0, T]$ , отвечающие различным внешним условиям, сформулированы как задачи многоэтапной однокритериальной и/или многоэтапной многокритериальной оптимизации. Критерием  $Q$  в них выступают скалярные целевые функции – прибыль банка  $Q^П$  или его ликвидность  $Q^Л$  для условий стабильности или крайней нестабильности, соответственно, а также вектор-функция  $\bar{Q} = (Q^П, Q^Л)$ , содержащая обе компоненты, для условия умеренной нестабильности, т.е.  $Q \in \{Q^П, Q^Л, \bar{Q} = (Q^П, Q^Л)\}$ .

Упомянутые задачи поиска оптимальных стратегий управлений на  $[0, T]$  с одним из возможных критериев формулируется согласно задачам (3.45) – (3.47). Эти задачи характеризуются высокой размерностью вектора управления, которая может достигать нескольких десятков для каждого квартала из интервала  $[0, T]$ , а также тем, что в модели (3.46) учитывается на определённую глубину предыстория деятельности банка.

Решение задач (3.45) – (3.47) однокритериальной оптимизации с критериями прибыль банка  $Q^П$  и его ликвидность  $Q^Л$ , соответственно, осуществлялось с использованием метода динамического программирования.

Для задачи (3.45) – (3.47) многоэтапной векторной оптимизации с критерием  $\bar{Q} = (Q^П, Q^Л)$  предложен метод решения, изложенный в разд. 3.7, являющийся модификацией известного метода (применяемого в обычной одноэтапной векторной оптимизации, в котором с заданной точностью строится множество Парето) применительно к многоэтапной векторной оптимизации.

Применение алгоритма оптимизации, представленного на рис. 3.7, позволило получить оптимальную стратегию управления деятельностью банка на интервале  $[0, T]$ ,  $T = 2$  года:  $\bar{U}^* = (\bar{U}_1^{*D}, \bar{U}_1^{*A}, \bar{U}_2^{*D}, \bar{U}_2^{*A}, \dots, \bar{U}_8^{*D}, \bar{U}_8^{*A})$  – кусочно-постоянную во времени поквартальную многомерную программную траекторию управляющих воздействий, которая характеризует кредитно-инвестиционную и депозитно-аккумуляционную стратегии банка на рассматриваемом интервале времени.

Некоторые компоненты вектора оптимальных управляющих воздействий изображены на рис. 4.5, где процентные ставки выражены в долях, причём  $U^{D1}$  и  $U^{D2}$  – ставки по рублевому депозиту до востребования физических и юридиче-

ских лиц, соответственно;  $U^{D8}$  – ставка по рублевому долгосрочному депозиту юридических лиц;  $U^{A1}$  и  $U^{A2}$  – ставки по рублевым краткосрочным кредитам физическим и юридическим лицам;  $U^{A6}$  – ставка по рублевому долгосрочному кредиту юридическим лицам.

График, содержащий все компоненты оптимальной стратегии управления депозитно-аккумуляционной и кредитно-инвестиционной деятельностью банка на интервале времени  $[0, T]$ , приведён на рис. 4.6.

Оптимальное конечное состояние банка по итогам двухлетней деятельности характеризуется следующими двумя значениями прибыли  $Q_T^n = 11\,653,18$  тыс. р. и ликвидности  $Q_T^l = 34,54$  тыс. р./тыс. р., которые определяют его сбалансированное состояние на последнем квартале, причём суммарная прибыль на всем интервале времени  $[0, T]$  равна 8 444 348 тыс. р.

Совокупность задач многоэтапной (однокритериальной и векторной) оптимизации с процедурами их решения представляют собой алгоритмическое обеспечение, используемое информационной системой поддержки принятия решений (ИС ППР) при выборе оптимальных альтернатив, рекомендуемых ЛПР для анализа и последующего выбора соответствующих стратегий управления деятельностью банка на интервале времени  $[0, T]$ .

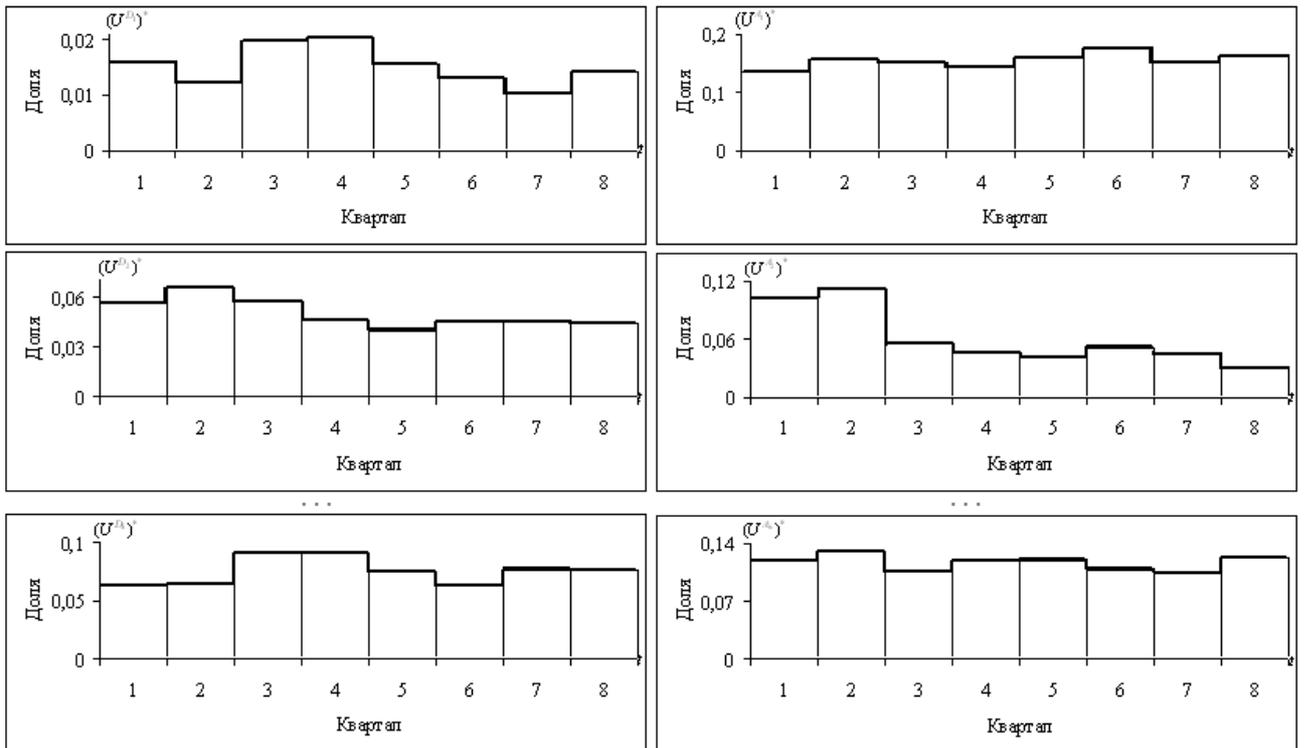


Рис. 4.5. Компоненты вектора оптимальных управляющих воздействий  $\bar{U}^*$  на интервале времени  $[0, T=2]$

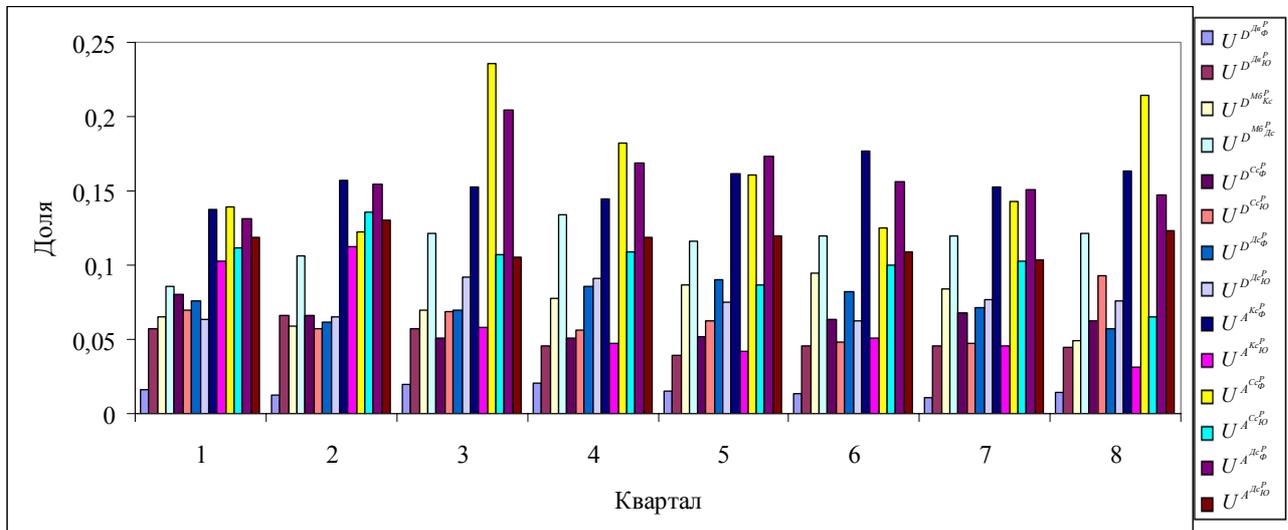


Рис. 4.6. График оптимальной поквартальной стратегии управления, характеризующий коммерческую деятельность банка на интервале времени  $[0, T]$ , где  $T = 2$  года, при  $N_{пт} = 256$

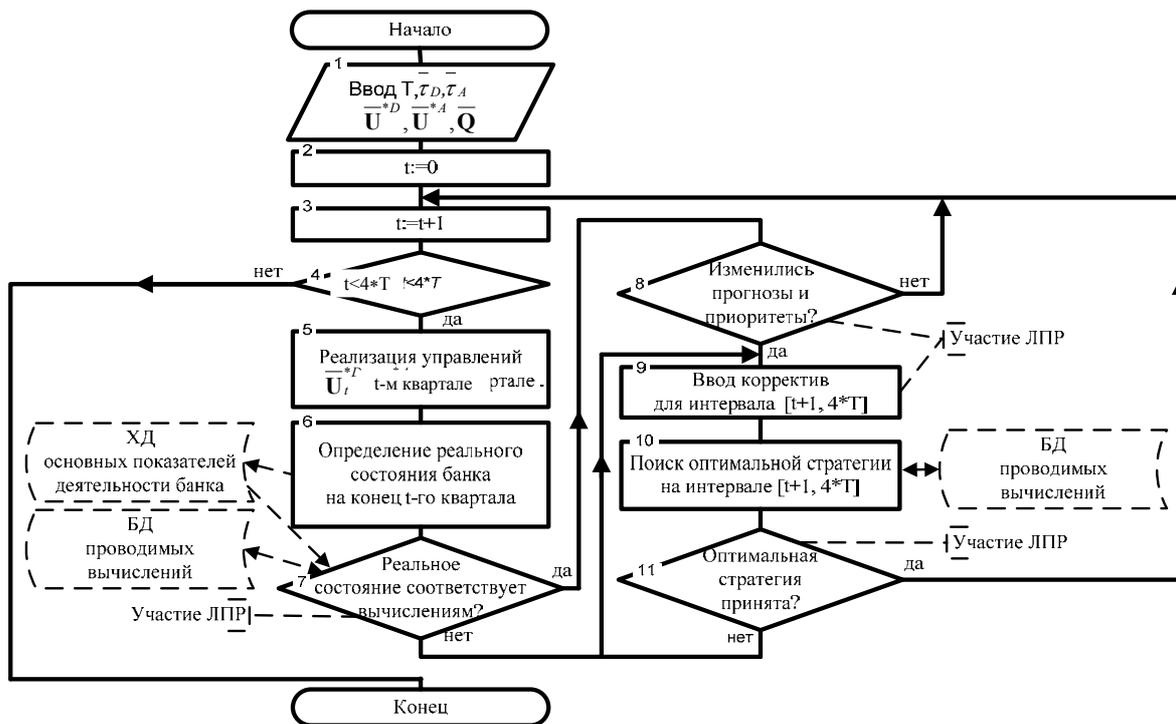


Рис. 4.7. Алгоритмическая модель поиска и реализации управленческих решений в информационной системе поддержки принятия решений

Разработана алгоритмическая модель поиска и реализации управленческих решений в ИС ППР, оптимизирующих деятельность банка на рассматриваемом интервале времени (рис. 4.7).

Рассчитанная для конкретных условий оптимальная стратегия управления и соответствующая траектория развития банка предлагается ЛПР для осмысления и возможной последующей реализации. Если траектория развития одобряется, то задачей оперативного управления банком является её последующее отслеживание, если нет – то осуществляется пересчёт, согласно с вносимыми коррективами, и вновь рассчитанная траектория анализируется ЛПР и т.д. При этом ЛПР вправе по собственным соображениям отвергать предлагаемый вариант. В процессе реализации принятой стратегии управления, а значит, и траектории развития возможны отклонения, в том числе серьезные, основных экономических показателей банка от расчётных значений. Это может произойти в результате разного рода кризисных явлений, при значительных изменениях экономической и политической конъюнктуры, в результате ошибок при руководстве банком и других причин. Тогда заново рассчитывается оптимальная стратегия управления, соответствующая изменившимся условиям.

Более развернутое изложение отдельных вопросов, затронутых в данном разделе, можно найти в литературе [58 – 61, 92, 93].

#### 4.6. ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Концептуальная модель (КцМ) единого информационного пространства (ЕИП), используемого для решения задач устойчивого развития региона, отражает основные компоненты структуры региона, её эволюцию, связи региона с внешним окружением, а также другую информацию, необходимую для принятия управленческих решений. Учитывая масштабы ЕИП и многочисленность решаемых задач, в КцМ включают наиболее важных компоненты. Однако предусматривается, при необходимости, оперативное расширение объема включаемой в неё информации. Для удобства использования КцМ широким кругом пользователей разрабатывается интерактивное электронное техническое руководство (ИЭТР), которое реализуется в форме интеллектуального интерфейса к КцМ.

ЕИП и его КцМ должны позволять руководящим органам региона оперативно решать следующие задачи:

- оценивать текущую ситуацию с позиций устойчивого развития и обеспечения безопасности;
- прогнозировать изменение показателей устойчивого развития в среднесрочном и долгосрочном периоде;
- формировать альтернативные варианты для принятия управленческих и проектных решений, связанных с тактическими и стратегическими задачами развития.

Постановки этих задач кратко рассмотрены в разд. 2.1. Большинство задач требует учёта факторов, имеющих вероятностную, нечеткую и неопределенную природу. В связи с этим при решении задач используется широкий арсенал различных методов, в том числе:

- вероятностно-статистические методы (корреляционный и регрессионный анализ, проверка статистических гипотез, анализ временных рядов, оценка рисков и др.);
- методы моделирования систем (идентификация моделей статики и динамики, моделирование сложных систем, модели массового обслуживания и др.);

– методы математического программирования (линейное программирование, нелинейное программирование, теория расписаний и др.);

– методы принятия решений в условиях неопределённости (экспертные оценки, Байеса – Лапласа, теория игр, Сэвиджа, Шортлифа – Бьюкенена, Демпстера – Шафера и др.)

Для комплексного учёта различных факторов и возможных ситуаций при использовании многих методов вводится расширенное множество состояний функционирования, которое в комплексе учитывает факторы внутренней среды и внешнего окружения.

На рис. 4.8 приведён фрагмент КцМ применительно к социальной сфере Тамбовского региона. Здесь слева выделены основные входные переменные, которыми можно варьировать в определённых пределах для обеспечения устойчивого развития. К этим переменным относятся: расходные статьи бюджета, инвестиции, изменения законодательства по льготам и тарифам, строительство медицинских учреждений и др.

В правой стороне расположены показатели устойчивого развития: средняя продолжительность жизни, средний уровень зарплаты, состояние здоровья, уровень безработицы, уровень занятости населения, уровень образования, уровень преступности, индекс социальной напряжённости, индекс демографической нагрузки, стоимость потребительской корзины, обеспеченность медицинским обслуживанием и лекарством, обеспеченность коммунально-бытовыми условиями и услугами.

В верхней части приводятся воздействия со стороны федеральных уровней, внешнеполитические возмущения и воздействия со стороны соседних и других регионов.

Таблица 4. 17

	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$
$P(H_i)$	0,350	0,450	0,100	0,100
Эксперт 1	2	1	3,5	3,5
$P(H_i/A_1)$	0,212	0,545	0,121	0,121
$P(H_i/A_2)$	0,262	0,589	0,075	0,075
$P(H_i/A_3)$	0,368	0,474	0,053	0,105
$P(H_i/A_4)$	0,368	0,474	0,105	0,053
$P(H_i)$ средняя	0,303	0,520	0,088	0,088
Эксперт2	3	1	2	4
$P(H_i/A_1)$	0,178	0,613	0,104	0,104
$P(H_i/A_2)$	0,218	0,655	0,064	0,064
$P(H_i/A_3)$	0,317	0,544	0,046	0,093
$P(H_i/A_4)$	0,317	0,544	0,093	0,046
$P(H_i)$ средняя	0,257	0,589	0,077	0,077

Возможные ресурсы, которые имеются для решения возникающих задач, содержатся в нижнем ряду модели.

В качестве примера рассмотрим задачу выбора района для строительства крупного предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции. При этом необходимо учесть комплекс факторов, в том числе объёмы производства этой продукции, местоположение относительно основных потребителей, наличие магистралей для автомобильного и железнодорожного транспорта и др. Пусть множество  $\mathcal{V}$  альтернативных вариантов включает четыре района, т.е.  $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ . Множеству  $\mathcal{V}$  соответствует множество гипотез  $\mathcal{H} = \{H_1, H_2, H_3, H_4\}$ , здесь  $H_i$  – гипотеза, что строительство предприятия в районе  $v_i$  наиболее предпочтительно.

На основе предварительного коллегиального обсуждения данного вопроса получены следующие априорные вероятности гипотез:

$$P(H_1) = 0,35, \quad P(H_2) = 0,45, \quad P(H_3) = P(H_4) = 0,1.$$

Эти вероятности могли быть результатом высказывания мнений 10 участников обсуждения, из которых четверо высказались за вариант  $v_2$ , трое – за  $v_1$ , по одному – за  $v_3$  и  $v_4$ , а один посчитал, что варианты  $v_1$  и  $v_2$  примерно равноценны.

Так как вероятности гипотез  $P(H_1)$  и  $P(H_2)$  одного порядка, то принято решение провести экспертизу вариантов. После обработки высказываний экспертов предпочтение отдано варианту  $v_2$ . Результаты расчёта апостериорных вероят-

ностей гипотез по формуле Байеса при правдоподобиях  $P(A_i / H_i) = 0,7$  и  $P(A_j / H_i) = 0,4$ ,  $j \neq i$  приведены в табл. 4.17. Из полученных данных видно, что вероятность гипотезы  $H_2$  возросла:  $P(H_2) = 0,52$ .

Чтобы принять окончательное решение, проведена вторая экспертиза, которая даёт основание ( $P(H_2) = 0,589$ ) выбрать для реализации вариант  $u_2$ .

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

---

В данной монографии рассмотрены наиболее важные вопросы, связанные с решением задач повышения экономической эффективности и конкурентоспособности региональных социально-экономических систем.

В настоящее время появляются новые методы моделирования, принятия управленческих решений, прогнозирования, которые могут быть использованы для обеспечения устойчивого развития региональной экономики и социальной сферы. Большую роль играет также своевременное обновление используемых информационных технологий и подходов в управленческой деятельности.

В приложении приведены фрагменты экспертной системы поддержки принятия управленческих решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

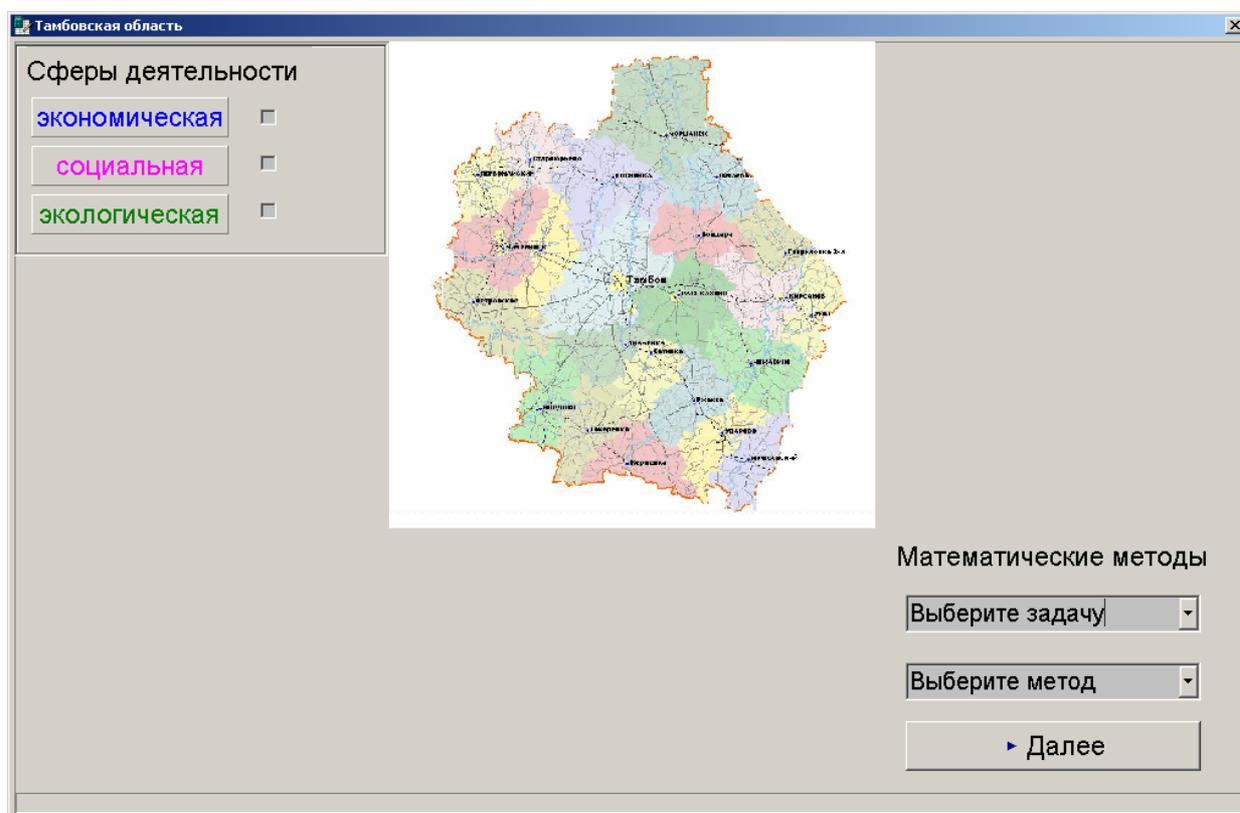
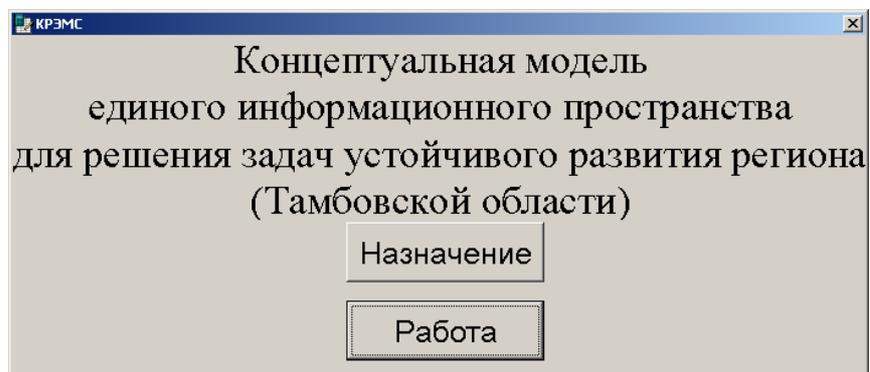
1. Аванесов, Е.К. Японская модель устойчивого роста – основа пересмотра стандарта ISO 9004 / Е.К. Аванесов // Методы менеджмента качества. – 2005. – № 10. – С. 40 – 44.
2. Адамов, Д.Ю. Проблема энергетической эффективности в информационных сетях будущего / Д.Ю. Адамов // Электросвязь. – 2007. – № 6. – С. 29 – 31.
3. Айзерман, М.А. Выбор вариантов: основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алексеров. – М. : Наука, 1990. – 240 с.
4. Агеева, Н.Г. Основы менеджмента : учебник : в 3 ч. / Н.Г. Агеева, О.Н. Дмитриев, Э.С. Минаев ; под ред. Э.С. Минаева. – М. : Высшая школа, 2002. – Ч. I. – 359 с.
5. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств : учеб. пособие для вузов / О.В. Алексеев, А.А. Головкин, И.Ю. Пивоваров и др. ; под ред. О.В. Алексеева. – М. : Высшая школа, 2000. – 479 с.
6. Альтгаузен, А.П. Применение электронагрева и повышение его эффективности / А.П. Альтгаузен. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
7. Арчибальд, Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами : пер. с англ. / Р. Арчибальд. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 464 с.
8. 7 нот менеджмента / А. Бочкарев, В. Кондратьев, В. Краснова, А. Матвеева и др. – 5-е изд., доп. – М. : ЗАО «Журнал Эксперт» ; ООО «Издательство ЭКСМО», 2002. – 656 с.
9. Барбашин, Е.И. Введение в теорию устойчивости / Е.И. Барбашин. – М. : Наука, 1967.
10. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан ; пер. с англ. под ред. Н.А. Ушакова. – М. : Наука, 1985. – 327 с.
11. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М. : Наука, 1973. – 160 с.
12. Динамическая вариантность (альтернативность) при управлении проектами / В.А. Блохин, А.И. Козлов, Д.Ю. Муромцев, Л.П. Орлова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 3. – С. 390 – 405.
13. Блохин, А.Н. Об одном способе повышения надежности принимаемых управленческих решений в условиях неопределенности / А.Н. Блохин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 682 – 688.
14. Цифровая имитация автоматизированных систем / А.А. Болтянский, В.А. Витгих, М.А. Караблик и др. – М. : Наука, 1983. – 264 с.
15. Гнеденко, Б.Ф. Математические методы в теории надежности / Б.Ф. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 275 с.
16. Горелова, Г.В. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова. – Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 2005. – 288 с.
17. Грабауров, В.А. Информационные технологии для менеджеров / В.А. Грабауров. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
18. ГОСТ Р 51380–99. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. – М. : Стандартинформ, 2000.
19. ГОСТ Р 50.1.029–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Интерактивные электронные технические руководства. Общие требования к содержанию, стилю и оформлению. – М. : Стандартинформ, 2002.
20. ГОСТ Р 51387–99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000.
21. ГОСТ Р 51541–99. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000.
22. Dempster, A.P. A generalization of Bayesian inference / A.P. Dempster // Journal of the Royal Statistical Society. – 30 (Series B): 1 – 38. – 1968.
23. Дубов, А.М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе : учеб. пособие / А.М. Дубов, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталева ; под ред. Б.А. Лагоши. – М. : Финансы и статистика, 1999. – 176 с.
24. Евстегнеев, Д.В. Использование когнитивных моделей при построении комплексной оценки состояния территории / Д.В. Евстегнеев, Т.Н. Ледашева // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2003. – С. 1592 – 1599. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/135.pdf>.
25. Елиферов, В.Г. Бизнес-процессы: регламентация и управление : учебник / В.Г. Елиферов, В.В. Репин. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 319 с.
26. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
27. Информатика : метод. указ. / сост. : Ю.Л. Муромцев, Л.П. Орлова, Д.Ю. Муромцев. – Тамбов : ТГТУ, 1998. – 63 с.
28. Информационные ресурсы для принятия решений : учеб. пособие / А.П. Вереvченко, В.В. Горчаков, И.В. Иванов, О.В. Голодова. – М. : Академический проспект ; Екатеринбург : Деловая книга, 2002. – 560 с.

29. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства / В.И. Скурихин, В.М. Квачев, Ю.Р. Валькман, Л.П. Яковенко ; отв. ред. В.М. Ешпко ; АН УССР ; Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова. – Киев : Наукова думка, 1990. – 320 с.
30. Информационные технологии управления : учеб. пособие для вузов / под ред. Г.А. Титоренко. – М. : ИНИТИ-ДАНА, 2003. – 439 с.
31. Информационные технологии управления : учеб. пособие / под ред. Ю.М. Черкасова. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 216 с.
32. Кафаров, В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Применение метода нечетких множеств / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, И.П. Марков. – М. : Наука, 1986. – 360 с.
33. Кэмпбел, Д. Стратегический менеджмент : учебник / Д. Кэмпбел, Дж. Стоунхаус, Б. Хьюстон ; пер. с англ. Н.И. Алмазовой. – М. : ООО «Издательство проспект», 2003. – 336 с.
34. Кетова, К.В. Об одной задаче макроэкономической динамики региона с учетом факторов экономического развития / К.В. Кетова // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 3(35). – С. 33 – 40.
35. Коврига, С.В. Безопасные стратегии социально-экономического развития северных округов / С.В. Коврига, В.И. Максимов ; под ред. В.В. Кульбы // Проблемы управления безопасностью сложных систем : материалы VIII Междунар. конф. (Москва, 19 дек. 2000 г.). – М. : РГГУ, 2000. – С. 146 – 149.
36. Коврига, С.В. Технология когнитивного моделирования целенаправленного развития ТЭК / С.В. Коврига, Е.К. Корноушенко, В.И. Максимов ; под ред. В.В. Кульбы // Проблемы управления безопасностью сложных систем : материалы VIII Междунар. конф. (Москва, 19 дек. 2000 г.). – М. : РГГУ, 2000. – С. 225 – 227.
37. Козлов, А.И. Полный анализ задачи тройного интегратора / А.И. Козлов, Д.Ю. Муромцев // Автоматика и телемеханика. – 2005. – № 1. – С. 3 – 12.
38. Кондратьев, Н.Д. Проблема предвидения / Н.Д. Кондратьев // Экономика и математические методы. – 1988. – С. 245 – 268.
39. Кондратьев, Н.Д. Проблемы экономической динамики / Н.Д. Кондратьев. – М. : Экономика, 1989. – 526 с.
40. Кузнецов, О.Л. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа – общество – человек : учебник / О.Л. Кузнецов, Б.Е. Большаков. – СПб. – М. – Дубна, 2004. – 616 с.
41. Ланге, О. Оптимальные решения / О. Ланге. – М. : Прогресс, 1967. – 286 с.
42. Лысенко, К.В. Инженерный эксперимент и системный анализ при моделировании процессов химической технологии : учеб. пособие / К.В. Лысенко, Ю.Л. Муромцев. – М. : МИХМ, 1983. – 80 с.
43. Левин, А. CALS – сопровождение жизненного цикла / А. Левин, Е. Судов // Открытые системы. – 2001. – № 3. [www.osp.ru/os/2001/03/058.htm](http://www.osp.ru/os/2001/03/058.htm).
44. Люгер, Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж.Ф. Люгер. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
45. Ляпин, Л.Н. Гарантированная оптимальная программа управления на множестве состояний функционирования / Л.Н. Ляпин, Ю.Л. Муромцев // Автоматика и телемеханика. – 1993. – № 3. – С. 85 – 93.
46. Максимов, В.И. Развитие моделей принятия решений: проблемы, парадоксы и перспективы / В.И. Максимов // Банковские технологии. – 2000. – № 3. – С. 39 – 43.
47. Максимов, В.И. Информационные технологии в управлении бизнесом / В.И. Максимов // Информация и бизнес. – 2000. – № 1. – С. 7 – 8.
48. Макаренко, Д.И. Интегрированный информационно-аналитический комплекс для ситуационного анализа социально-экономического развития региона / Д.И. Макаренко, С.В. Качаев // Законодательство, информатизация и современные технологии : сб. докл., 24 – 25 мая 2000 г. – Ханты-Мансийск, 2000.
49. Макаренко, Д.И. Стратегическое информационное оружие второго поколения для мирных целей / Д.И. Макаренко, В.И. Максимов // Рефлексивное управление : тез. докл. Междунар. симпозиума (Москва, 2000 г.). – М. : Институт психологии РАН, 2000. – С. 134 – 136.
50. Макаренко, Д.И. Роль геополитических факторов при когнитивном моделировании открытых систем / Д.И. Макаренко, В.И. Максимов // Проблемы управления безопасностью сложных систем : материалы VIII Междунар. конф. (Москва, 19 дек. 2000 г.) / под ред. В.В. Кульбы. – М. : РГГУ, 2000. – С. 29 – 32.
51. Макаренко, Д.И. Когнитивный подход к анализу и прогнозированию развития социально-экономических систем и ситуаций / Д.И. Макаренко // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 5. – Прил. № 1. – С. 345 – 346.
52. Макаренко, Д.И. Когнитивная модель государственной военно-технической политики / Д.И. Макаренко // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC-2003) : тр. III Междунар. конф. – М. : Институт проблем управления РАН, 2003. – Т. 1. – С. 161 – 177.
53. Makarenko, D. Cognitive Approach to Control of Socio-Economic Systems Security / D. Makarenko, Z. Avdeeva, V. Maximov // Systems, Men & Cybernetics : Proceedings of the IEEE International Conference. – Hague : IEEE, 2004. – P. 899 – 903.
54. Макаренко, Д.И. Когнитивный подход к управлению безопасностью сложных систем / Д.И. Макаренко, З.К. Авдеева, С.В. Коврига // Открытое образование. – 2005. – Прил. № 1. – С. 59 – 60.

55. Максимов, В.И. Технологии информационного общества в действии: применение когнитивных методов в управлении бизнесом / В.И. Максимов, С.В. Качаев // Вестник РФФИ, Российский фонд фундаментальных исследований. – 1999. – № 3(17). – С. 73 – 78.
56. Максимов, В.И. Моделирование взаимодействия внешних и внутренних причин развития чрезвычайных ситуаций / В.И. Максимов, С.В. Качаев, Е.К. Корноушенко // Проблемы управления безопасностью систем : тез. VI Междунар. конф. – 1999. – С. 171.
57. Агеева, Н.Г. Менеджмент для инженера : в 3 ч. Ч. 1. Основы менеджмента : учебник / Н.Г. Агеева, О.Н. Дмитриев, Э.С. Минаев ; под ред. Э.С. Минаева – М. : Высшая школа, Доброе слово, 2002. – 359 с.
58. Минин, Ю.В. Разработка модуля оптимизации кредитно-депозитной деятельности информационной системы коммерческого банка / Ю.В. Минин, В.Н. Шамкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2007. – № 3(9). – С. 151 – 159.
59. Минин, Ю.В. Поиск оптимальных управленческих воздействий на кредитно-депозитную деятельность коммерческого банка / Ю.В. Минин, В.Н. Шамкин, И.А. Кузнецов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Сер. Гуманит. науки. – 2007. – Вып. 10(54). – С. 174 – 180.
60. Минин, Ю.В. Алгоритм поиска оптимальных управляющих воздействий в векторной задаче оптимизации деятельности коммерческого банка / Ю.В. Минин, В.Н. Шамкин // Наука. Образование. Молодежь : материалы IV Всерос. науч. конф. молодых ученых. – Майкоп : Изд-во АГУ, 2007. – Ч. II. – С. 202 – 205.
61. Минин, Ю.В. Подходы к решению оптимизационной задачи формирования стратегии деятельности коммерческого банка / Ю.В. Минин, И.А. Зауголков, В.Н. Шамкин // ММТТ-18 : сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. В 10 т. – Казань : Изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – Т. 7. – С. 104 – 106.
62. Михайлова, Е.А. Основы бенчмаркинга / Е.А. Михайлова. – М. : Юрист, 2002. – 110 с.
63. Михалевич, В.С. Информатика (общие положения) / В.С. Михалевич, Ю.М. Каныгин, В.И. Грищенко. – Киев, 1983. – 45 с.
64. Моррис, У.Т. Наука об управлении. Байесовский подход / У.Т. Моррис. – М. : Мир, 1971. – 304 с.
65. Муромцев, Ю.Л. Аспекты устойчивого развития региона / Ю.Л. Муромцев, Д.Ю. Муромцев, В.А. Погонин // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.3 (32). – С. 364 – 369.
66. Муромцев, Ю.Л. Определение границ эффективности и работоспособности сложных систем / Ю.Л. Муромцев // Автоматика и телемеханика. – 1988. – № 4. – С. 164 – 176.
67. Муромцев, Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. Методы, модели, алгоритмы / Ю.Л. Муромцев. – М. : Химия, 1990. – 144 с.
68. Муромцев, Ю.Л. Моделирование и оптимизация систем при изменении состояний функционирования / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, О.В. Попова. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1992. – 164 с.
69. Муромцев, Д.Ю. Проектирование систем с учетом расширенного множества состояний функционирования / Д.Ю. Муромцев, А.И. Козлов // Проектирование и технология электронных средств. – 2004. – № 1. – С. 13 – 18.
70. Муромцев, Д.Ю. Использование расширенного множества состояний функционирования при реинжиниринге процессов / Ю.Л. Муромцев // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции : школа-семинар молодых ученых. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – С. 160 – 161.
71. Муромцев, Д.Ю. Расширение понятия состояний работоспособности сложных технических систем в задачах управления проектами и рисками / Д.Ю. Муромцев, С.А. Блохин // Надежность. – 2003. – № 4(7). – С. 3 – 8.
72. Муромцев, Д.Ю. Принятие решений с использованием байесовского подхода и экспертных оценок / Д.Ю. Муромцев, Л.П. Орлова, А.И. Козлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 1. – С. 15 – 24.
73. Муромцев, Ю.Л. Принятие проектных решений : учеб. пособие / Ю.Л. Муромцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.
74. Муромцев, Ю.Л. Метод синтезирующих переменных при оптимальном управлении линейными объектами / Ю.Л. Муромцев, Л.И. Ляпин, Е.В. Сатина // Приборостроение. Изв. вузов. – 1993. – № 11, 12. – С. 19 – 25.
75. Наше общее будущее : доклад междунар. комиссии по окружающей среде и развитию / пер. с англ. под ред. С.А. Евтеева и Р.А. Перелета. – М. : Прогресс, 1989.
76. Новая парадигма развития России (комплексные проблемы устойчивого развития) / под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. – М. : Академия ; Изд-во МГУК, 1999.
77. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И.П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
78. Отраслевой стандарт Госкомвуза РФ 02.002–95. Информационные технологии в высшей школе. Термины и определения.
79. Першиков, В.И. Толковый словарь по информатике / В.И. Першиков, В.М. Савинков. – М. : Финансы и статистика, 1995. – 544 с.
80. Петров, В.Н. Информационные системы / В.Н. Петров. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.

81. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С.Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе и др. – М. : Наука, 1969.
82. Портер, М. Конкуренция : пер с англ. / М. Портер. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2000.
83. Портер, М. Международная конкуренция : пер с англ. / М. Портер. – М. : Издательский дом «Вильямс», 1993.
84. Принятие обоснованных решений с использованием экспертных оценок : метод. указания / сост. : Ю.Л. Муромцев, Л.П. Орлова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1996. – 26 с.
85. Пупков, К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 348 с.
86. Райков, А.Н. Фундамент корпоративного менеджмента / А.Н. Райков // Открытые системы. – 2000. – № 12. – С. 22 – 25.
87. Райков, А.Н. Интеллектуальные информационные технологии : учеб. пособие / А.Н. Райков // Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет). – М., 2000. – 96 с.
88. Райков, А.Н. Развитие России и единое информационное пространство / А.Н. Райков // Вестник РФФИ, Российский фонд фундаментальных исследований. – 1999. – № 3(17). – С. 29 – 34.
89. Романов, В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике : учеб. пособие / В.П. Романов. – М. : Изд-во «Экзамен», 2003. – 496 с.
90. Санжапов, Б.Х. Анализ устойчивого развития региона в условиях нечеткой информации / Б.Х. Санжапов, Я.В. Стародубцева // Информационные технологии. – 2002. – № 2. – С. 27 – 29.
91. Скрипка, К.Г. Экономическая эффективность информационных систем / К.Г. Скрипка. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 256 с.
92. Соболев, И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М. : Дрофа, 2006. – 175 с.
93. Соболев, И.М. Наилучшие решения – где их искать / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М. : Наука, 1986. – 82 с.
94. Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Хэмди А. Таха. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
95. Теоретические основы исследования сложных систем с учетом надежности : учеб. пособие / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, В.Н. Грошев, В.Н. Шамкин. – Тамбов : ТГТУ, 1987. – 116 с.
96. Умаханов, М.И. Устойчивое развитие региона: модель, основные направления, концепция / М.И. Умаханов, Р.Д. Шахпазова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА : Закон и право, 2006. – 143 с.
97. Уткин, В.Б. Информационные системы и технологии в экономике : учебник для вузов / В.Б. Уткин, К.В. Балдин. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 335 с.
98. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи ; пер. с англ. Ю.Е. Корнилович. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2006. – 304 с.
99. Чейз, Р.Б. Производственный и операционный менеджмент : пер. с англ. / Р.Б. Чейз, Н.Дж. Эквилайн, Р.Ф. Якобс. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 704 с.
100. Черемных, С.В. Структурный анализ систем: ИЕЕФ-технологии / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
101. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. – М. : Мир, 1975. – 684 с.
102. Юрков, Н.К. Модели, алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами : монография / Н.К. Юрков. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2003. – 198 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ



Тамбовская область

**Сферы деятельности**

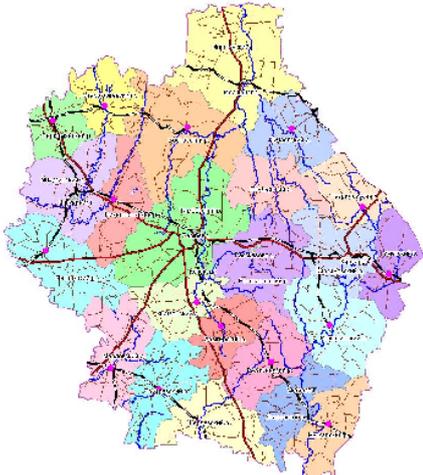
экономическая

социальная

экологическая

**Входы** + -

Период	Наименован.	Диапазон
2008	Вход1	2-5
2008	Вход2	1-8



**Выходы** + -

Период	Наименован.	Диапазон
2008	Выход1	1-5

**Ресурсы** + -

Дата	Наимен.	Верх. гран.	Нижн. гран.

**Математические методы**

Моделирование

Корреляционный анализ

► Далее

Коэффициент корреляции + - Расчёт

Вход1	Вход2	Выход1
2	5	1
2	5	2
3	4	4
4	8	5
5	1	3

Корреляционная матрица

1,000	-0,351	0,606
-0,351	1,000	0,315
0,606	0,315	1,000

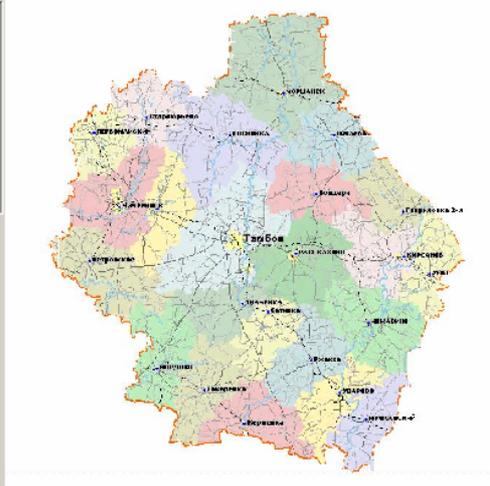
Тамбовская область

Сферы деятельности

экономическая

социальная

экологическая



Математические методы

Оценка ситуации

Метод Байеса

► Далее

Исходные данные

Число вариантов

$n =$

Функции правдоподобия

$P(A_j / H_j) =$

$P(A_j / H_i) =$

► Далее

Экспертиза

H1	2
H2	3
H3	1

► ОК

**Априорные вероятности**

$P(H1)$	0.6
$P(H2)$	0.3
$P(H3)$	0.1

Сумма вероятностей  
должна равняться 1

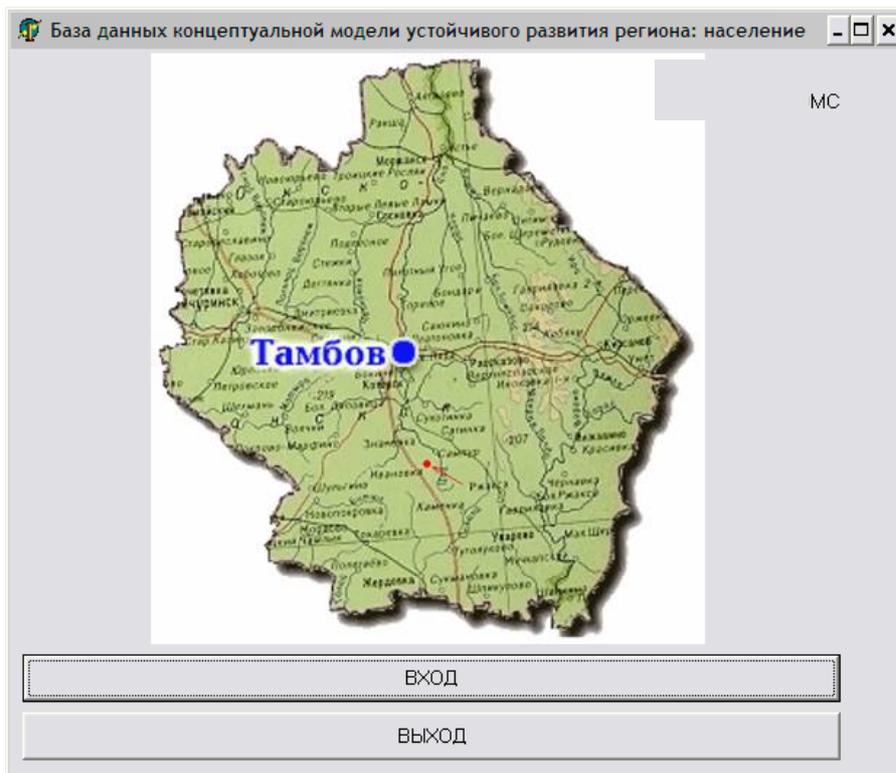
▶ Далее

**Метод Байеса принятия проектных решений**

	H1	H2	H3
$P(H_i)$	0,600	0,300	0,100
Эксперт1	2	3	1
$P(H_i/A1)$	0,429	0,429	0,143
$P(H_i/A2)$	0,706	0,176	0,118
$P(H_i/A3)$	0,581	0,290	0,129
$P(H_i)$ средняя	0,572	0,298	0,130

Предпочтительный вариант H1

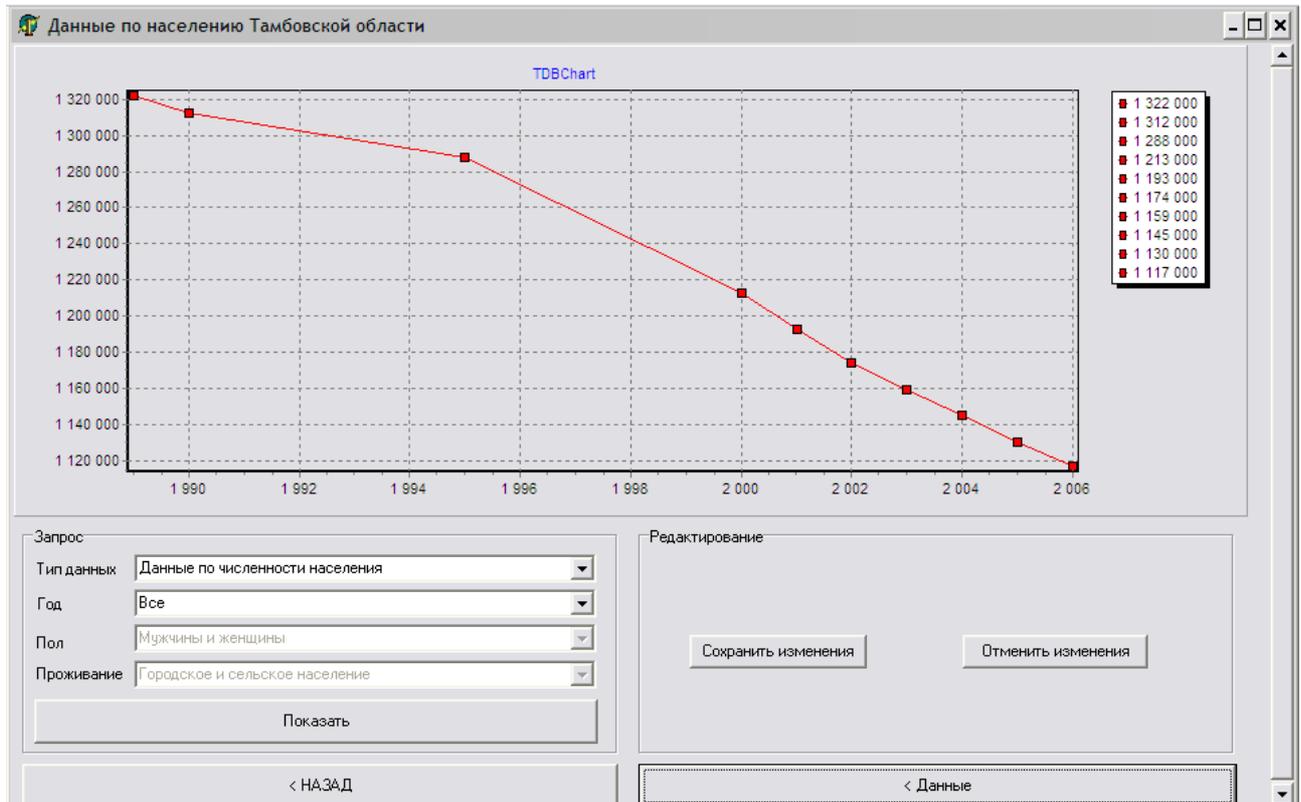
▶ Добавить экспертизу



Данные

Nº	Проживание	Пол	BYZ	BISHEE	NEPBISHEE	SREDPROF	SRED	OSNOV	NACH	NIKAK	Год	NACHBISHEE
0	городское	муж		146742	27762	255146	290840	224740	136166	34372	1989	206232
1	городское	муж	3522	192536	35220	333416	214842	144402	57526	4696	2002	180796
2	городское	жен		152030	21152	317280	237960	214164	146742	132200	1989	100472
3	городское	жен	2348	204276	29350	387420	186666	142054	85702	16436	2002	112704
4	сельское	муж		48914	6610	132200	218130	274976	321246	105760	1989	214164
5	сельское	муж	1174	72788	10566	214842	213668	227756	163186	16436	2002	250062
6	сельское	жен		54202	7932	169216	136166	233994	305382	342398	1989	72710
7	сельское	жен	1174	88050	12914	267672	164360	216016	237148	55178	2002	127966

< НАЗАД      Графики



## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	6
1.1. Устойчивое развитие .....	6
1.2. Конкурентоспособность .....	11
1.3. Экономическая эффективность .....	16
1.4. Информационные технологии .....	21
1.5. Информационные системы .....	29
1.6. Интерактивные электронные технические руководства ...	34
2. ПРОБЛЕМАТИКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ .....	38
2.1. Постановки задач .....	38
2.2. Единое информационное пространство .....	49
2.3. Концептуальное моделирование .....	53
2.4. Моделирование бизнес-процессов .....	60
2.5. Управление проектами .....	63
3. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ .....	67
3.1. Метод динамической альтернативности .....	67
3.2. Принятие решений с использование байесовского подхода и экспертных оценок .....	69
3.3. Метод Шортлифа-Бьюкенена .....	73
3.4. Метод Демпстера-Шафера .....	80
3.5. Конкурентный анализ .....	85
3.6. Методы обеспечения энергетической эффективности .....	90
3.7. Методы оптимизации деятельности финансовых организаций .....	100
4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ .....	112
4.1. Применение метода динамической альтернативности .....	112
4.2. Пример использования байесовского подхода .....	123
4.3. Пример использования метода Шортлифа-Бьюкенена .....	131
4.4. Пример использования метода Демпстера-Шафера .....	134
4.5. Пример решения задачи многоэтапной векторной оптимизации при управлении деятельностью среднего коммерческого банка .....	140
4.6. Применение концептуального моделирования .....	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	162