

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Российский государственный университет
нефти и газа им. И.М. Губкина

Степин Ю.П., Трахтенгерц Э.А.

**КОМПЬЮТЕРНАЯ
ПОДДЕРЖКА
УПРАВЛЕНИЯ
НЕФТЕГАЗОВЫМИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И
ПРОИЗВОДСТВАМИ**

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ
ФОРМИРОВАНИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ**

В двух томах

**Под общей редакцией
проф. Э.А. Трахтенгерца**

Том 1

2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	9
Введение	11
Глава 1. Эволюция рынка, задач производства и систем управления	14
1.1. Эволюция требований рынка и изменение задач, возникающих перед производствами	14
А. Цели, стратегии и оперативные воздействия	14
В. Эволюция характера задач производства	17
С. Эволюция менталитета менеджмента	22
1.2. Эволюция требований рынка и изменение задач, возникающих перед производствами	23
А. Этапы развития методов управления	23
В. Развитие структуры задач компьютеризированных систем управления	28
С. Особенности нефтегазового производства	31
Глава 2. Состояние и развитие традиционных автоматизированных систем управления	37
2.1. Возникновение и роль математических методов в принятии управленческих решений	37
2.2. Структура и классификация систем управления	39
А. Функциональная часть системы управления	39
В. Обеспечивающая часть подсистемы управления	42
2.3. Структура и классификация автоматизированных систем управления	43
2.4. Эволюция методологий построения АСУ	47
А. Элементный подход	47
В. Подсистемный подход	47
С. Процедурный подход	48
D. Управление материальными ресурсами	50
E. Управление процессами	54
F. Управление корпоративными знаниями	57

2.5.	Система управления качеством	59
2.6.	Недостатки стандартов ИСО	60
Глава 3.	Развитие и методология компьютерных технологий формирования управленческих решений	63
3.1.	Формирование управленческих решений	63
3.2.	Развитие компьютерных методов мониторинга и анализа его результатов	69
3.3.	Развитие компьютерных методов оптимизации управленческих решений	75
А.	Необходимость оптимизационных решений	75
В.	Аспекты оптимизации	78
3.4.	Компьютерная технология долгосрочного и стратегического планирования	83
3.5.	Формирование множественных сложных целей	90
3.6.	Формирование стратегий	96
Глава 4.	Роль субъективных оценок и неопределенности ситуации в процессе компьютерного формирования управленческих решений	104
4.1.	Неопределенность ситуации, субъективность оценок и индивидуальность руководителя	104
4.2.	Неопределенность и субъективность в оценке вариантов решений	109
4.3.	Субъективность в формировании набора критериев и оценке их важности	113
А.	Определение понятия «критерий»	113
В.	Субъективность в выборе критериев и компьютерная поддержка формирования их списка	115
С.	Субъективность в определении «весов» критериев и компьютерная поддержка их определения	117
4.4.	Неопределенность и субъективность в математических моделях, используемых при поддержке управленческих решений	123
А.	Модели, использующие субъективную вероятность	124
В.	Модели, использующие нечеткие множества	126

- C. Модели, использующие многокритериальные функции предпочтения руководителя 128
- D. Условия и области применения моделей 131

Глава 5	Компьютерные методы определения и использования субъективных предпочтений руководителей	134
5.1.	Формализация и интуиция	134
A.	Формализация	134
B.	Интуиция	136
5.2.	Функции определения и использования субъективных предпочтений руководителей	137
5.3.	Компьютерные методы выявления субъективных предпочтений руководителей в формировании набора критериев и их «весов»	140
A.	Формирование списков параметров и критериев	141
B.	Оценка и согласование значимости критериев	142
C.	Формирования набора критериев и их «весов»	144
5.4.	Использование СППР субъективных предпочтений руководителя в анализе результатов мониторинга ..	150
5.5.	Использование СППР субъективных предпочтений руководителя в процессе генерации возможных управленческих решений	152
A.	Формирование списка целей в процессе планирования будущей деятельности организации	152
B.	Формирование списка возможных стратегий и сценариев в процессе планирования	154
C.	Генерация целей, стратегий и сценариев в динамике работы организаций	155
5.6.	Компьютерные оценки альтернатив возможных управленческих решений с учетом предпочтений руководителя	157
5.7.	Учет предпочтений руководителей в прогнозе последствий вариантов решений	161
5.8.	Согласования групповых решений	162
5.9.	Выбор лучшего, с точки зрения руководителя, варианта решения	162

Глава 6	Элементы математических моделей, используемых в управленческих решениях	165
6.1.	Допустимость применения математических моделей	165
6.2.	Элементы теоретико-игровых моделей принятия решений	167
A.	Основные понятия и определения	167
B.	Матричные игры	169
C.	Основы статических решений (игры с природой) ...	174
D.	Биматричные игры	178
E.	Равновесие Нэша	179
F.	Игровой аспект оптимальности по Парето	181
G.	Сравнение равновесия Нэша с Парето-оптимальностью	184
6.3.	Элементы байесовских моделей	185
6.4.	Элементы марковских моделей принятия решений .	186
6.5.	Основные понятия теории массового обслуживания	192
6.6.	Некоторые модели принятия решений, основанные на аппарате теории нечетких множеств	193
A.	Нечеткие множества, числа, переменные, логика, алгоритмы	194
B.	Модели нечеткого математического программирования	205
6.7.	Основные понятия нейросетевых моделей	213
6.8.	Экспертные системы и элементы теории графов в формировании (генерации) решений	216
A.	Когнитивные карты	216
B.	Экспертные системы	220
C.	Деревья решений и таблицы решений	223
Глава 7	Компьютерное распознавание образов	231
7.1.	Содержание проблемы распознавания	231
7.2.	Примеры использования системой распознавания экспертных данных	232
7.3.	Схема функционирования системы распознавания .	227

7.4.	Распознавание системой класса реализуемого процесса (стратегии)	246
7.5.	Принципы компьютерной поддержки согласования субъективных экспертных оценок стратегий	248
Глава 8	Компьютерная поддержка синтаксической и семантической генерации управленческих решений	258
8.1.	Формальные языки и грамматики как средство компьютерной синтаксической генерации управленческих решений	258
8.2.	Пример компьютерного синтаксического порождения грамматикой сценариев ликвидации последствий аварийного разлива нефти	268
8.3.	Семантическая генерация новых стратегий с помощью СППР	271
А.	Компьютерное формирование схемы семантической генерации нового набора стратегии	273
В.	Компьютерная поддержка семантической генерации новых стратегий	284
Глава 9	Методы субъективного многокритериального сравнения объектов	288
9.1.	Бинарные сравнения объектов	288
А.	Процедура Борда	289
В.	Турнирная таблица	291
С.	Гарантированный результат	292
D.	Правило последовательных уступок	293
9.2.	Процедура голосования	294
9.3.	Сравнение по Парето	295
9.4.	Нахождение Нэш-равновесных условий	301
А.	Определение Нэш-равновесия и его связь с Парето-оптимальностью	301
В.	Простые иллюстративные примеры нахождения начальных Нэш-равновесных условий	305
9.5.	Алгоритмы субъективного упорядочивания при формировании управленческих решений	308

А.	Шкалы измерений	308
В.	Алгоритмы субъективного сравнения	311
С.	Подбор экспертов при субъективных сравнениях ..	316
9.6.	Анализ иерархий	319
9.7.	Метод субъективных предпочтений	327
Глава 10	Методы прогнозирования результатов принимаемых решений	330
10.1.	Классификация методов прогнозирования и их характеристика	330
10.2.	Прогнозирование временных рядов	333
10.3.	Системная динамика	339
10.4.	Использование марковских случайных процессов и методов динамики средних	344
10.5.	Прогнозирование скачкообразного изменения состояния систем	349
10.6.	Экспертные методы прогнозирования	352
	ЛИТЕРАТУРА	360

*Военное дело просто и вполне доступно
здравому уму человека, но воевать
сложно.*

/Клаузевиц/

ПРЕДИСЛОВИЕ

Успехи применения вычислительной техники в управлении производством, рынком, социальными системами и др. Уже привели к тому, что руководитель редко принимает серьезное решение без анализа обстановки, оценки вариантов решений и их согласования с использованием компьютерных систем поддержки принятия решений.

Однако применение компьютерных технологий в управлении помимо чисто технических и процедурных сложностей порождает и психологический барьер. Он вызван тем, что сегодня специалист плохо формализует семантику (смысл) принимаемых решений, но легко и успешно их генерирует и воспринимает на интуитивном уровне. Компьютер, наоборот, не обладает интуицией, он воспринимает и генерирует только формализованные понятия. Под формализацией обычно понимается отображение содержательного знания в знаковую форму или формализованный язык, а под интуицией – непосредственное постижение истины без предварительного логического рассуждения. Поэтому в диалоге компьютера и специалиста последнему приходится переходить от интуитивных представлений к формальным и от формальных к интуитивным, переводя интуитивные понятия на формальный язык, «понятный» компьютеру, и формализованные компьютерные данные – в интуитивно ясные специалисту представления.

Необходимо отметить, что этот психологический барьер постепенно уменьшается. Это связано со следующими факторами:

- современный специалист очень рано осваивает компьютер;
- высшая школа уделяет все больше внимания обучению студентов компьютерным технологиям управления;
- создано и все шире используются в различных приложениях много хороших и постоянно улучшаемых компьютерных систем поддержки принятия решений и управляющих систем и специалисты

на практике повышают свой уровень работы с вычислительной техникой.

Для того чтобы специалист успешно «общался» с компьютерной системой поддержки принятия решений, ему необходимо:

- уметь применять существующие, а при необходимости – разрабатывать новые методы и алгоритмы оценки результатов мониторинга обстановки, основанные на них генерации вариантов решений и их ранжирование;
- эффективно использовать компьютерные системы управления на протяжении всего процесса управления, начиная с формирования проектных решений и продолжая его в динамике реализации.

В соответствии с этим предположением учебник состоит из двух книг. В первой книге рассматриваются математические и эвристические методы и алгоритмы, используемые в компьютерных технологиях принятия управленческих решений. Большое внимание уделяется проблемам неопределенности и субъективности оценок в процессе компьютерного формирования управленческих решений.

Во второй книге обсуждается применение и особенности компьютерных систем поддержки принятия решений при управлении проектами в нефтегазовой промышленности и при их реализации при управлении процессами нефтегазодобычи.

Данная работа является результатом многолетнего сотрудничества Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН и РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина.

Учебник написан на основании многолетнего опыта разработки теории и компьютерных управляющих систем одним из авторов и длительного исследования и чтения курсов лекций по применению вычислительной техники в нефтегазовой промышленности – другим.

В заключении считаем своим приятным долгом выразить искреннюю признательность за неоценимую квалифицированную помощь Н.И. Злобинской, без которой эта работа не могла бы быть выполнена.

Формулы занимают важное место в науке, но не составляют ее существа.

/Дж. Максвелл/

ВВЕДЕНИЕ

Первая книга учебника открывается рассмотрением эволюции рынка и связанных с этим изменений задач производства и, что наиболее важно, систем управления и особенностей нефтегазового производств. Отмечается, что нефтяная и газовая отрасли характеризуются большими затратами материальных и трудовых ресурсов, территориальной разобщенностью, очень большим числом объектов управления, а также высокой неопределенностью и рисками при принятии управленческих решений. Принятие различных управленческих решений, так или иначе, сопряжено с созданием и эффективным использованием соответствующих компьютерных систем поддержки принятия решений (СППР).

Во второй главе рассматривается состояние и развитие традиционных автоматизированных систем управления и методов построения АСУ. Цель этой главы показать эволюцию автоматизированных систем управления и разъяснить пользу и некоторые отрицательные стороны принятия стандартов и показать место СППР в системе управления.

Появление компьютерных технологий формирования управленческих решений и их развитие породило совершенно новые методы и средства реализации мониторинга и анализа его результатов, позволило оптимизировать варианты решений и осуществлять формирование множественных сложных целей и стратегий. Этому вопросу посвящена третья глава, завершающая анализ развития компьютерных методов и вычислительных систем управления. Этот краткий исторический экскурс позволяет лучше понять их современное состояние, открывающиеся огромные возможности совершенствования управления производством и маркетингом и возникающие при этом трудности.

Перед обсуждением конкретных моделей и методов (им целиком посвящена вторая книга учебника), используемых в процессе управ-

ления в нефтегазовой отрасли и нефтегазодобычи в частности, в первой книге рассмотрены проблемы неопределенности и субъективности. В процессе формирования решений эти проблемы являются одними из центральных. Сейчас стало совершенно ясно, что какие бы математические методы и компьютерные системы не использовались в процессе принятия управленческих решений, избежать субъективности в их формировании невозможно. Субъективность выражается в выборе критериев, определении значимости каждого критерия, подборе коэффициентов уравнений, выбор математических методов и т.п., с помощью которых анализируется обстановка и формируются решения

Неопределенность связана как с невозможностью точного учета реакции окружающей среды на наши действия, так и с неполнотой наших знаний в проблеме, по которой принимается решение, наконец, очень важную роль играет почти всегда имеющее место неточное понимание своих целей руководителем, хотя на первый взгляд это утверждение кажется парадоксальным.

Понимание влияния факторов неопределенности и субъективности на процесс управления совершенно необходимо при использовании компьютерных систем поддержки принятия решений. Этому вопросу посвящена четвертая глава, а в следующей главе рассматриваются компьютерные методы определения и использования субъективных предпочтений руководителя, позволяющие учитывать интересы и предпочтения руководителя в процессе управления, а не генерировать «абстрактно оптимальные» решения, не отвечающие его интересам.

В следующих главах обсуждаются модели и методы, применяемые в процессе анализа обстановки, генерации и формировании управленческих решений, такие как: Байесовские модели, теоретико-игровые модели, а также методы, основанные на теории марковских случайных процессов, теории нечетких множеств и моделях нечеткого математического программирования и др. Авторы честно признаются, что выбор рассматриваемых в учебнике моделей и методов из огромного числа существующих – чисто субъективен (как, впрочем, и любое управленческое решение). Он основан главным образом на личном опыте авторов, хотя авторы добросовестно проанализировали и другие широко используемые методы. При этом при выборе ме-

тодов и моделей из рассмотрения исключались те, что обычно хорошо известны студентам из курсов математических дисциплин.

Девятая глава посвящена субъективному многокритериальному сравнению объектов. Здесь опять происходит возврат к субъективным оценкам. В зависимости от того, каким из методов сравнивать объекты или процессы – большинство из них известны и достаточно популярны – и по каким критериям их оценивать, критерии обычно достаточно стандартны – получается различное ранжирование, а, следовательно, различный выбор лучшего решения. При этом один вариант ранжирования может существенно отличаться от другого, то есть определение лучшего варианта зависит от метода сравнения.

В десятой – последней главе первой книги рассмотрены методы прогнозирования результатов принимаемых решений: прогнозирование временных рядов, системная динамика, метод динамики средних, прогнозирование коротких временных рядов и скачкообразных процессов, экспертные методы прогнозирования.

Таким образом, в 1-ой книге учебника представлены и проанализированы принципы, на основе которых развивались методы и модели, используемые в компьютерных системах управления, а также показаны примеры достаточно широко используемых методов и моделей, подробно рассмотрены значения фактора неопределенности и роль субъективности предпочтений руководителя в формировании управленческих решений.

Глава 1

ЭВОЛЮЦИЯ РЫНКА, ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Эволюция требований рынка и изменение задач, возникающих перед производствами

А. Цели, стратегии и оперативные воздействия

Чрезвычайный динамизм экономических, политических и социальных процессов современного мира, все возрастающая сложность этих процессов часто требует изменения порядка вещей и модернизации методики принятия управленческих решений.

Одна из составляющих этой модернизации – умение достаточно быстро принять чрезвычайные для организации меры при резком и неожиданном изменении обстановки.

При этом скорость и адекватность принятия решений, а также их реализация в фирме (или любой другой организации) должна соответствовать скорости и глубине изменений, происходящих в мире.

Эти изменения могут носить такой характер, что чисто оперативными воздействиями в русле принятых правил (например, небольшим снижением продажной цены, некоторым улучшением качества и т.п.) противостоять им уже невозможно. Необходимы решения о кардинальных изменениях, например: введение новых технологий, смена моделей или типов продукции и даже формирование новых целей производств.

Для принятия подобных решений необходимо, чтобы:

- система мониторинга и анализа его результатов своевременно предупреждала руководство о возникающих изменениях или неожиданном резком изменении обстановки, которые могут потребовать серьезных изменений в деятельности организации;
- руководство сумело вовремя провести прогностический анализ, понять характер возникающих или неожиданно возникших угроз

и на основании его результатов сгенерировать возможные стратегии противодействия, сформулировать новые цели, оценить их, проранжировать, выбрать наиболее эффективные и реализовать их.

Формирование целей и стратегий их реализации является одной из важнейших составляющих процедуры принятия управленческих решений. Хотя задача формирования цели и реализующих ее стратегий в значительной степени семантическая, а сегодня эффективных методов формализации семантик нет, компьютерная система за счет использования методов генерации целей и стратегий, их оценки и ранжирования, расширяет множество вариантов, которые могут оказаться в поле зрения руководителя. Варьируя методы оценок, она может влиять на субъективные предпочтения руководителя, способствуя принятию лучших решений.

Российский энциклопедический словарь определяет цель, как "мысленно предвосхищенный результат деятельности человека". Цель указывает, что желательно или должно быть достигнуто. Правильность выбора цели может иметь серьезнейшие последствия. Так, цель, сформулированная американским инженером Фордом: создать производство дешевого массового автомобиля оказала сильнейшее влияние на экономику США, а его самого привела к колоссальным общеизвестным успехам.

Словарь "Социальные теории организации" определяет стратегию как "разновидность долгосрочного плана развития организации с учетом перспектив ее взаимодействия с внешней средой". Стратегия - это еще не план, не сценарий действий, а общие методы достижения целей. Решения о кардинальных изменениях деятельности фирмы, вызванные изменениями во внешней среде и внутри фирмы (или организации другого типа), в настоящее время называют стратегическими решениями.

Для достижения одной и той же цели различные организации могут выбирать даже противоположные стратегии. Например, для обеспечения своих стран энергоресурсами Германия и Швеция отказываются от атомной энергетики, предпочитая другие источники энергии, а Франция, наоборот, развивает эту отрасль форсированными темпами, стремясь довести до 90% долю электричества, вырабатываемого на АЭС [1.1].

Понятие "стратегия" вошло в управленческую терминологию западного бизнеса в 50-е годы прошлого века, когда проблема реакции на неожиданные изменения в экономике, политике, технике, социальной и других сферах стала приобретать все большее значение. Вначале оно вызывало недоумение, т.к. общеупотребительный смысл этого термина в то время был "наука и искусство планирования боевых операций большого масштаба" (словарь Вебстера). Постепенно термин стал общеупотребительным в бизнесе и получил значение "системный подход, обеспечивающий сложной организации сбалансированность и общее направление развития" (существуют и другие определения) [1.2].

Для перехода от термина "стратегия" к понятию "стратегическое управление" руководству бизнеса потребовалось более 20 лет. Под стратегическим стали понимать управление фирмой (или организацией другого типа):

- учитывающее в процессе мониторинга существующие и возникающие угрозы, требования к организации и открывающиеся новые возможности сложного внешнего мира;
- адаптирующее в процессе принятия и реализации управленческих решений функционирование фирмы к многообразным опасным и благоприятным изменениям, происходящим как во внешнем мире, так и в самой фирме.

Сущность перехода от оперативного управления к стратегическому заключалась в переносе центра внимания высшего руководства на сложную внешнюю среду для того, чтобы соответствующим образом и своевременно реагировать на происходящие в ней изменения.

Стратегическое управление определяет в каждый данный момент, какие решения должна принимать и реализовывать организация в настоящем, чтобы достичь поставленной цели в будущем, исходя из того, что как окружающая среда, так и условия функционирования организации, и даже формулировка целей могут изменяться. Конечно, стратегические решения и, тем более, решения об изменении цели не могут приниматься также быстро и, тем более, привычно как оперативные. Варианты возможных стратегических решений требуют тщательного анализа, оценки, ранжирования и согласования на различных уровнях управленческой иерархии. Однако быстрота

принятия стратегических решений и их реализации может оказаться решающей для судьбы организации.

При стратегическом управлении необходимо учитывать следующие опасности:

- резко усиливаются негативные последствия ошибок в выборе стратегии и ее реализации. В условиях, когда в сжатые сроки создаются совершенно новые продукты, кардинально меняются направления вложений и возникают новые возможности, а старые, существовавшие много лет, исчезают, цена расплаты за ошибки в выборе и реализации стратегии может быть роковой;

- не срабатывают рутинные, привычные процедуры и схемы;
- возникает серьезное сопротивление переменам, вызывающим непредвиденные отсрочки, дополнительные расходы и нестабильность процесса стратегических изменений. Как заметил все тот же Макиавелли: "Сопротивление переменам пропорционально силе ломки культуры и структуры власти, происходящей из-за перемен".

Несмотря на эти опасности метод, стратегического управления оказался мощным, хотя и сложным оружием, с помощью которого фирма может противостоять быстро меняющимся условиям внешнего и внутреннего (для фирмы) мира. Возрастающая сложность и изменчивость происходящих в нем процессов привела к возникновению тесной динамической связи между оперативным и стратегическим управлением и их взаимовлиянию.

Оперативное управление, основываясь на данных мониторинга, стремится реализовать цели и стратегии фирмы. Но его результаты в связи с изменением обстановки могут оказаться неадекватными этим изменениям, и тогда потребуются сформулировать решения о смене стратегий или даже целей фирмы и реализовать их. Естественно, смена стратегий приведет к изменениям в оперативном управлении. Поэтому в современных системах управления, широко использующих возможности средств вычислительной техники, объединяют реализацию оперативного, стратегического управления и формирование целей.

В. Эволюция характера задач производства

Начало современного предпринимательства обычно относят к первой трети XIX в. Технической основой для его быстрого развития

была так называемая промышленная революция: появление паровой машины, бессемеровский процесс выплавки стали, вулканизация резины и т.д. В это же время сформировалась новая форма экономической организации - деловое предприятие, получившее название фирмы. В дальнейшем, по мере своего развития, группы фирм объединялись в более крупные экономические системы: корпорации, холдинги и т.п.

Дальнейшее развитие промышленности привело к тому, что начало XX века до 30-х годов получило название эпохи массового производства. Фирмы стремились выпускать как можно больше в основном типовой продукции по наиболее низкой цене. Характеристики и номенклатура продукции менялись относительно медленно. Внутренние связи и условия работы внутри фирмы были достаточно стабильны. Победителем, завоевавшим большую долю рынка, становился тот, кто при стандартном качестве продавал свою продукцию дешевле. Государство вмешивалось в предпринимательскую деятельность относительно редко, хотя во многих странах уже существовало трудовое и протекционистское законодательство.

Однако к началу 30-х годов спрос на основные потребительские товары стал близок к насыщению. По мере роста благосостояния потребитель стал искать большего, чем удовлетворения основных потребностей. Спрос на типовую, массовую стандартную продукцию начал падать и баланс успеха стал склоняться в сторону фирм, приступивших к изучению потребностей рынка и начавших выпускать продукцию, отвечающую его запросам. В фирмах, выпускающих технологически сложную продукцию, появились лаборатории для научных исследований и опытных разработок, т.е. для завоевания рынка фирмы начали создавать качественно новую продукцию. Естественно, это вызвало усложнение методов управления фирмой.

С середины 50-х годов началось ускоренное изменение структуры, границ и динамики предпринимательства. Эти изменения оказались такими серьезными, что некоторые авторы начали называть этот период "эпохой без закономерностей", но устоявшимся названием периода стало "постиндустриальная эпоха". Эта эпоха характеризовалась совершенно новой обстановкой: ростом инфляции, возрастающими ограничениями со стороны государства, все более высокими

требованиями потребителей, вторжением иностранных конкурентов, технологическими прорывами, меняющейся трудовой моралью и т.д.

Накопленный научный и промышленный потенциал позволил относительно быстро разрабатывать новые высокоэффективные технологии, изменяющие характер производства. Усилилась конкуренция, усилилась роль государственного управления, возросло значение и влияние социального фактора. Все это привело к резкому усложнению как производственных процессов, так и внешнего мира, в котором функционирует фирма. Мир стал нестабилен и опасен в связи с крайней уязвимостью мегаполисов, техносферы, глобальными климатическими изменениями и т.п.

После Второй мировой войны все большую роль в экономике стал играть военно-промышленный комплекс (ВПК), поглощая значительные ресурсы экономически развитых государств. Кажется, первым из крупных государственных деятелей, публично заявивших об опасности ВПК для развития своих стран, был президент США Эйзенхауэр.

Роль ВПК в XX веке была так велика, что основной задачей науки XX века многие авторы [1.1] считают создание систем вооружения и средств защиты. Бурное развитие большинства естественных наук связано в первую очередь с созданием новых видов вооружений. По оценкам науковедов в XX в. более половины фундаментальных исследований в развитых странах инициировалось потребностями военно-промышленных комплексов этих государств.

Технический прогресс, большую роль в котором сыграли так называемые двойные технологии, т.е. технологии, которые могут использоваться как для военных, так и для гражданских целей, коренным образом изменил как спрос, так и предложение. Огромные инвестиции в научно-технические исследования и разработки породили множество отраслей, основанных на новых технологиях, подавлявших устаревающие производства.

Мир стал настолько сложен и опасен, что, по мнению многих специалистов, в XXI веке одной из главных задач науки будет управление риском и безопасностью сложных систем [1.1]. Изменилась и цель промышленности. Если в XX веке промышленность стремилась производить больше и разнообразней, то в XXI веке она будет стремиться производить дешевле и экономичнее [1.3]. Стратегия расши-

ренного воспроизводства, под знаком которой прошли два предыдущих века, себя исчерпала. В XXI веке на первый план выходит стабилизация [1.1]. Все это, естественно, резко усложнило мониторинг и анализ обстановки на рынке, не говоря уже об адаптации фирм к требованиям внешней среды.

Фундаментальной причиной перемен стало изменение уровня обеспеченности общества: от удовлетворения основных потребностей и удобства физического существования в эпоху массового производства до наступившего благосостояния в постиндустриальный период [1.2]. В этот последний период потребители ждут от своих покупок большего удовольствия, наемные работники хотят высокого удовлетворения запросов личности, а общество в целом – большей социальной ответственности фирм (например, в области экологии, безопасности производимых товаров и т.д.). Под влиянием интернационализации предпринимательской деятельности, нехватки ресурсов и ускорения технического прогресса конкуренция ожесточается. Из-за появления новых незнакомых технологий, неожиданных конкурентов, непривычных запросов потребителей и новых рамок государственного и социального контроля проблемы производства и сбыта усложняются.

В табл. 1.1 показана эволюция некоторых задач производства в разные периоды его развития.

В табл. 1.2 показано изменение задач, возникающих перед фирмой, рассмотренных с точки зрения трех критериев: степени привычности, темпа изменений и прогнозируемости [1.2].

Из анализа таблиц 1.1, 1.2 и сказанного выше напрашиваются следующие выводы. Число новых задач, обусловленных все убыстряющимися изменениями внешней среды и внутреннего состояния фирмы, неуклонно возрастает. Многие из них имеют принципиальный характер и не могут быть решены на основе имеющегося опыта, что приводит к дальнейшему усложнению управленческих проблем и порождает увеличение нагрузки на всех уровнях управления фирмой, резко увеличивает роль субъективности в принимаемых решениях.

Новые задачи возникают все чаще и могут требовать для своей реализации не только оперативных, но и стратегических решений.

Таблица 1.1

Задачи производства в период		
промышленной революции	массового производства	постиндустриальный
Производственные критерии эффективности	Рыночные критерии эффективности	Рыночно-производственные критерии эффективности
Стабильное удовлетворение спроса на предметы первой необходимости	Удовлетворение дифференцированного спроса	Реализация стратегии неожиданных
	Развитие отраслей на базе новых технологий	Использование двойных технологий
	Насыщение спроса для отраслей периода промышленной революции	Ограничение роста производства
	Рынки индустрии досуга	Удовлетворение возросших требований рынка
	Развитие международных рынков	Адаптация к изменению характера труда
Борьба с загрязнением среды отходами производства		Передача функции принятия решений на низшие уровни системы управления
		Адаптация к глобализации экономики

Таблица 1.2

Характеристики	Периоды				
	1900	1930	1950	1970	1990
Степень привычности задач фирмы	Привычные	В пределах экстраполяции опыта	Неожиданные, но имеющие аналогии в прошлом		Неожиданные и совершенно новые
Темп изменений требований рынка	Медленное, чем реакция фирмы	Сравнимый с реакцией фирмы		Быстрее, чем реакция фирмы	
Предсказуемость будущего	По аналогии с прошлым	Путем экстраполяции		Предсказуемость серьезных проблем и новых возможностей	Частичная предсказуемость

Поскольку сохранение существующей экономико-технологической системы может привести к деградации и катастрофе, как в результате истощения ресурсов, так и вследствие загрязнения окружающей среды, то возможно создание новых в некоторых случаях гигантских отраслей промышленности, в частности связанных с рекультивацией земли и переработкой уже накопленных отходов [1.4]. Отсутствие опыта в новых областях усиливает влияние роли субъективных оценок на всех уровнях принятия решений.

С. Эволюция менталитета менеджмента

Изменения внешней среды серьезно влияют на характер мышления руководства и методы управления (это относится не только к коммерческой, но и любой другой организации). В табл. 1.3 [1.2] схематично показана связь между характером изменчивости внешней среды и соответствующим ему типом мышления руководства, необходимым ему для достижения успеха [1.2].

Таблица 1.3

Характер изменчивости среды	не меняется	расширяется	изменяется эволюционно, без скачков	изменяется дискретно, скачками
Тип мышления	консервативный	производственный	рыночный	стратегический
Краткое описание типа мышления	устойчивость, периодичность повторений процессов	стремление к росту, экономия на масштабе производства	адекватная реакция на изменение внешней среды, дифференциация производства	гибкость в изменении характеристик продукции, возможная смена долгосрочных планов

Как правило, руководитель обладает одним типом мышления. Так, Г. Форд, добившийся огромного успеха в условиях бурно расширяющегося рынка, по мнению автора работы [1.2], мог бы стать препятствием в развитии компании "ПолярOID" в период дискретного изменения спроса на рынке фотографической промышленности, когда она создала аппаратуру для моментальной фотографии.

В табл. 1.3 используется термин "стратегический тип мышления". Этот термин тесно связан с понятием "стратегическое управле-

ние". Термин "стратегическое управление" был введен в обиход на стыке 60-70^х годов прошлого века для определения функций управления, выполняемых на высшем уровне, в отличие от оперативного управления на уровне непосредственного производства. Введение функций стратегического управления было вызвано необходимостью переноса центра внимания высшего руководства с внутренних задач фирмы на анализ состояния внешней среды, главным образом рынка и изменяющегося законодательства, и формирование реакций на результаты анализа [1.5].

Методы управления определялись требованиями меняющейся внешней среды и ее влиянием на внутреннее состояние фирмы. При этом главные задачи управления фирмами стали смещаться в сторону продвижения товаров на рынок.

Кажется, американская фирма "Дженерал Моторс" была первой очень крупной фирмой, переключившей внимание руководства с производства на рынок [1.2], введя принцип ежегодной смены моделей выпускаемых автомобилей и их модификаций в соответствии со стремлением покупателей приобретать новые типы машин.

В большинстве случаев управленцы сопротивлялись таким переменам, так как они требовали тягостной необходимости переучиваться, менять установки и примиряться с тем, что будущее характеризовалось все более высоким уровнем неопределенности. Характерным примером такого сопротивления является корпорация Форда, долго не желавшая переходить от массового производства одной модели к ее модификациям в соответствии с требованиями рынка.

Для преодоления этих и других, а также вновь возникающих с развитием и усложнением отраслей производства проблем и трудностей необходимо ускорить, расширить и углубить процесс внедрения вычислительной техники в системах управления.

1.2. Эволюция систем управления и особенности нефтегазового производства

А. Этапы развития методов управления

Для крупных фирм, корпораций и ряда организаций характерны черты, которыми определяют сложные системы [1.6, 1.7]. Это вложенность, открытость, нелинейность взаимодействия их элементов,

невозможность сосредоточить всю информацию о системе в одном элементе, наличие обратных связей, согласование элементами системы интегральной реакции на внешние и внутренние возмущения, непредсказуемость поведения в некоторых ситуациях и т.д.

Если рассматривать фирму как сложную систему, то можно считать, что в период массового производства внутренне она была достаточно устойчива и могла систематически получать сильные внешние управляющие воздействия только от потребителей и поставщиков сырья и полуфабрикатов. Они казались достаточно стационарными. От государства воздействия приходили относительно редко и не всегда оказывали на фирму сильное воздействие.

В постиндустриальную эпоху положение резко изменилось. Усилилась конкуренция, возникновение новых технологий стало массовым явлением, появились товары с совершенно новыми свойствами, усилилось влияние государства и общества, в некоторых случаях кардинально снижающие эффективность работы фирм. Поэтому их положение стало менее стабильным.

Анализ эволюции задач, возникающих перед фирмами, и методов управления фирмами показал, что как задачи, так и методы постоянно усложнялись. Поэтому периодически возникали задачи преодоления этих барьеров сложности. Эта борьба "снаряда с броней" – сложности задач и сложности управления – привела в конце концов к созданию компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений.

Эволюция методов управления показана в табл. 1.4 [1.3].

Из таблицы видно, что сменявшие друг друга системы рассчитывались на растущий уровень нестабильности и, в особенности, на все большую непривычность событий и все меньшую предсказуемость будущего.

Как следует из таблицы, можно выделить четыре этапа в развитии этих систем:

1. *Управление на основе контроля* за исполнением (постфактум).
2. *Управление на основе экстраполяции*, когда темп изменений ускоряется, но будущее еще можно предсказывать путем экстраполяции прошлого.

3. *Управление на основе предвидения изменений*, когда начали возникать неожиданные явления, и темп изменений ускорился, однако не настолько, чтобы нельзя было вовремя предусмотреть будущие тенденции и определить реакцию на них.

4. *Управление на основе гибких экстренных решений*, когда многие важные задачи возникают настолько стремительно, что их невозможно вовремя предусмотреть.

Таблица 1.4

Периоды	1900	1930	1950	1970	1990
Предсказуемость будущего	Привычно		Поддается экстраполяции	Неожиданно, но узнаваемо	Неожиданно и неузнаваемо
Будущее есть повторение прошлого	Управление на основе контроля				
Будущее предсказуемо			Управление на основе экстраполяции		
Предсказуемы только проблемы и новые возможности				Управление на основе предвидения изменений	
Частично предсказуемы слабые сигналы из внешней среды фирмы					Управление на основе гибких/экстренных решений
Уровень нестабильности	1 Стабильность	2 Реактивность	3 Предвидение	4 Исследование	5 Творчество

Методы управления, характеризуемые первыми двумя этапами, разрабатывались и реализовывались до появления вычислительной техники. Но в первых компьютеризированных системах управления

– назовем их традиционные автоматизированные системы управления (АСУ) они реализовывались.

Управление на основе предвидения изменений, включая стратегическое планирование по периодам и выбор стратегических позиций, внедрялось медленно и трудно в течение 20 лет, но теперь и оно входит в практику фирм, и достаточно широко реализуются в рамках традиционных АСУ.

Управление на основе гибких экстренных решений уже широко используется в ряде стран, в том числе в Японии и США [1.2]. Сегодня стало ясным, что последние два этапа невозможно реализовать без качественно нового применения вычислительной техники. В связи с этим, для задач управления, основанных на гибких экстренных решениях, в начале семидесятых годов появился термин «системы поддержки принятия решений» (русская аббревиатура – СППР, английская DSS – Decision Support Systems).

На рис. 1.1 [1.5] представлена схема компьютерной обработки информации, поступающей в фирму. Она показывает возможные направления использования СППР для реализации задач, представленных в правом столбце рис. 1.2.

На рис.1.1 цифры обозначают: 1 - отдел продаж; 2 - финансовый отдел, 3 - бухгалтерия, 4 - договорной отдел, 5 - склад, 6 - производственные подразделения. Остальные подразделения не обозначены. Стрелкой с одной линией показана информация, стрелкой с двумя линиями - воздействия, оказанные на фирму и фирмой.

В тоже время необходимо отметить, что использование компьютерных систем для задач управления породило два взаимно проникающих процесса:

- все усложняющиеся задачи управления (их эволюция) представляют все большие требования к аппаратным и программным средствам;
- вычислительные комплексы, используемые в системах управления, оказывают все большее влияние на структуры и методы управления фирм и корпораций.

Эволюцию сложности задач в системах управления фирмой, определяющей необходимость использования СППР, можно очень схематично представить в виде рис. 1.2.



Рис. 1.1

В правом столбце рис. 1.2 обратим внимание на блоки "Формирование множественных сложных целей", "Формирование стратегий", а также "Оптимизация функционирования" и "Компьютеризация управления - DSS". Это новые шаги в деятельности фирм, представляют особый интерес. Они, как уже говорилось выше, требуют для своей реализации создания нового класса вычислительных систем - компьютерных СППР, дающих новое содержание функционирующим сегодня традиционным АСУ, в которых перечисленные в правом столбце рис. 1.2 задачи в комплексе или не решаются, или

решаются частично. Обычно, традиционно ставится и решается задача "Оптимизация функционирования".



Рис. 1.2

В. Развитие структуры задач компьютеризированных систем управления

Помимо описанных выше сложностей, вызванных требованиями рынка и динамикой развития внешней среды и усложнения задач управления, а также проблемами автоматизации управления, которые будут рассмотрены ниже, у фирм и концернов возникли трудности, вызванные развитием их внутренней структуры. Они определяются следующими аспектами [1.8]:

- пространственной распределенностью управленческих, производственных, складских, и других подразделений организации;
- огромным объемом информации с характеристикой клиентуры, потоков материальных и финансовых средств, состояния производственных процессов, характеристикой и политикой конкурентов и т.п.;
- необходимостью анализа в масштабе реального времени результатов мониторинга по всем важным видам деятельности и определение возможных угроз;
- формированием решений по оперативному управлению в масштабе реального времени или близком к нему;
- анализом разрыва между параметрами целей (планов), этапами их достижения и реальными показателями;
- необходимостью оценки опасности потерь и нахождением путей их предотвращения;
- формированием согласованных изменений в целях, стратегиях и планах в темпе, обеспечивающем парирование возникших угроз;
- контролем за выполнением и эффективностью принятых решений по оперативному управлению и изменениям стратегий в соответствии со сроками их реализации.

Развитие компьютерных систем управления производством привело к схеме функционирования систем поддержки принятия оперативных, стратегических и решений, формирующих цели, показанной на рис. 1.3 [1.9].

На рис. 1.3 видна цикличность функционирования системы. Заметим, что процесс принятия решения может повторяться, если предлагаемый вариант оказывается неудовлетворительным. Конечно, совсем не обязательно, чтобы в компьютерной системе управления были реализованы все блоки, показанные на рис. 1.3. Во многих случаях они реализуются только частично (например, в ряде описанных ниже ERP, MES автоматизированных системах).

Из рис. 1.3 также видно, что в укрупненном, по сравнению с рис. 1.1 виде, структурно, современная компьютерная система управления, реализуемая как комплекс взаимосвязанных СППР, состоит из трех связанных между собой параллельно работающих подсистем: поддержки оперативного управления, поддержки стратегического управления и поддержки системы формирования целей.

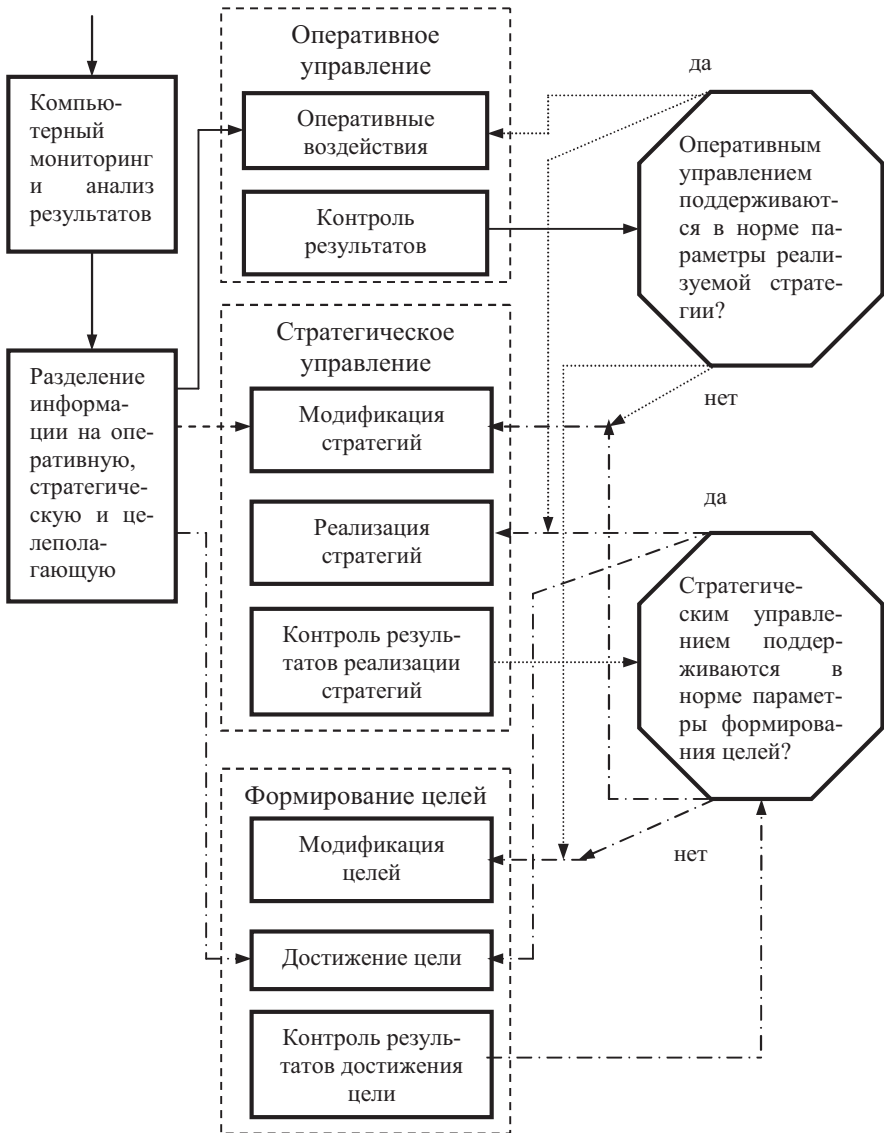


Рис. 1.3

Подчеркнем, что выработка стратегических и решений формирования целей процесс достаточно длительный, как правило, требующий определенной подготовки и согласования. Во многих случаях смена стратегий и, тем более, формирование целей вызывает серьезное сопротивление управленческого персонала. Однако в условиях возрастающего динамизма современного мира вообще, и производства в частности, необходимо уметь эффективно менять свои цели и стратегии в соответствии со складывающейся обстановкой. При этом надо сказать, что качественное выполнение этой работы невозможно без учета особенностей той или иной предметной области, то есть особенностей соответствующей отрасли производства.

Поэтому, прежде чем рассматривать проблемы построения и методологию компьютерной поддержки этих направлений управленческих решений, рассмотрим в начале особенности нефтегазового производства и в частности нефтегазодобычи, а также состояние и эволюцию развития традиционных автоматизированных систем управления.

С. Особенности нефтегазового производства

Нефтегазовая промышленность занимает ключевое место в топливно-энергетическом комплексе России (достаточно сказать, что удельный рост только природного газа в структуре производства первичных энергоресурсов страны составляет около 50%) и характеризуется рядом специфических особенностей, отличающих ее от других отраслей производства. Эти особенности определяются следующими условиями реализации ее основных, обслуживающих и вспомогательных технологических процессов и производств:

- Орудия труда (например, эксплуатационное и нагнетательное оборудование), предметы и продукты труда (например, нефте- и газосодержащие пласты перекачиваемая нефть и газ) удалены от непосредственного воздействия и наблюдения. Воздействие осуществляется не прямо на процесс, а через людей и другое технологическое оборудование (например, скважины, насосные агрегаты). Эта особенность делает необходимым значительные капитальные вложения на создание основных фондов – строительство нефтяных, газовых и других скважин, сооружение трубопроводов и т.д. и обуславливает многоуровневый характер управления технологическими процессами

ми, значительная часть из которых, носит организационно-технологический характер [1.10, 1.11].

- Производственные объекты, в большей своей части, разобщены и расположены на значительных территориях страны. Число и разнообразие этих объектов исчисляется сотнями и тысячами. Например, общая протяженность магистральных газопроводов 220 тыс. км., а нефтепроводов 65 тыс. км. Они включают в себя около 300 компрессорных станций с примерно 3000 газоперекачивающими агрегатами и более 550 насосных перекачивающих станций с более чем 3500 насосными агрегатами. Например, только на Оренбургском газоконденсатном месторождении эксплуатируются около 700 газовых скважин, а в ПО «Татнефть» на Ромашкинском месторождении эксплуатационный фонд нефтяных скважин составляет 19 тысяч.

Эти особенности определяют специфику структуры, размеры предприятий и организацию управления нефтегазовым производством, которое в современных условиях представляет собой комплекс нефтегазовых регионов, на территории которых действуют как различные специализированные предприятия, так и интегрированные нефтегазовые компании [1.10, 1.11], в том числе и вертикально интегрированные [1.11, 1.12].

Управление технологическими процессами и производствами осуществляется в условиях воздействия на них большого числа случайных факторов и недостаточной информации об объектах управления (например, продуктивных пластах и происходящих в них процессах), обусловленных с одной стороны природными условиями, а с другой стороны причинами и условиями, описанными выше. Эти особенности обуславливают в свою очередь ситуацию, когда уровень обобщения и типизации решений, например, в автоматизации управления нефтегазовыми технологическими процессами и производствами возможен лишь в смысле разработки общих методов и математических моделей, пригодных в сходных условиях.

Нефтегазовое производство в целом и его подотрасти, обобщенная структура которого показана на рис.1.4, являются сложными многоуровневой системами, имеющими, как правило, иерархическую структуру. [1.11].



Рис. 1.4

С позиций системного анализа, опираясь на определенные выше особенности, каждая из подотраслей нефтегазового производства, представленных на рис.1.4, и все нефтегазовое производство можно характеризовать общими для сложных систем признаками [1.13], анализ которых позволяет определить следующие системные особенности нефтяной и газовой промышленности, таблица 1.5.

Таблица 1.5

Особенности нефтяной и газовой промышленности как системы

Признак классификации	Характеристика системы
1. Источник создания	Искусственная
2. Основа создания	Эмпирическая
3. Состав	Человеко-машинная
4. Взаимодействие с окружающей средой	Открытая
5. Время функционирования	Постоянная
6. Изменение свойств и функций во времени	Стабильная
7. Прогноз поведения	С элементами случайности и неопределенности
8. Степень централизации управления	Децентрализованная, централизованная
9. Ресурсная база	Физически невозпроизводимая

Представленные в таблице 1.5. характеристики нефтяной и газовой промышленности оказывают существенное влияние на организацию, планирование и управление нефтегазовым производством. Так, например, открытость системы позволяет выходить за ее пределы и использовать информацию, поступающую извне; стабильность системы говорит о повторяемости задач в области планирования и управления и наличии возможности с определенными потерями устранить допущенные ошибки без пересмотра всей системы; невозможность ресурсов диктует необходимость ограничений их текущего использования и одновременно применения наиболее эффективных методов извлечения нефти и газа с целью обеспечения наиболее полного использования потенциала недр; случайность и неопределенность в прогнозе поведения, определяемая физической сущностью процессов, протекающих при добыче, транспорте и пере-

работке нефти и газа, наличием соответствующей информации, необходимой для принятия управленческих решений диктует необходимость применения математических методов и компьютерных систем поддержки управленческих решений.

Кроме этих общих общесистемных характеристик нефтегазовой промышленности для оценки эффективности различных проектных и управленческих решений чрезвычайно важным является знание специфических особенностей отдельных подотраслей. В частности, степени централизации или децентрализации соответствующих производственных структур и принимаемых решений.

Так к особенностям геологоразведочных работ, непосредственно определяющим эффективность последующих процессов нефтегазодобычи, следует, в первую очередь, отнести: разбросанность объектов поисков и разведки на значительной территории; слабое развитие производственной и социальной инфраструктуры региона; удаленность объектов от баз снабжения; применение различных видов, методов и комплексов работ по изучению недр; постоянное перемещение фронта работ в пространстве; большая продолжительность полного цикла, связанного с открытием и подготовкой к эксплуатации залежей нефти и газа; наличие перерывов при переходе от одной стадии к другой; необходимость опережающего проектирования геологоразведочных работ по сравнению с проектированием добывающих предприятий; ухудшение показателей эффективности геологоразведочных работ, начиная с момента достижения определенной степени изученности региона и т. д. Большое влияние на планирование и управление проектами поисков и разведки скоплений углеводородов оказывают также вероятностный характер и информационная неопределенность результатов геологоразведки.

К особенностям нефтегазодобывающего производства можно также отнести [1.13]:

- удаленность нефтегазонасыщенного пласта и подземной части эксплуатационного оборудования от места непосредственного наблюдения и управления процессом нефтегазодобычи;
- территориальная закреплённость предмета труда и особенность производственных объектов (скважин);
- необходимость их комплексного обслуживания;

- отсутствие незавершенного производства и полуфабрикатов;
- большая зависимость технико-экономических показателей разработки объектов и критериев эффективности затрат от природных условий, от уровня использования разведанных и извлекаемых запасов углеводородов;
 - динамичный характер (изменяемость во времени) природных факторов;
 - наличие нескольких стадий эксплуатации объектов; вероятностный (и, или нечеткий) большинства технико-экономических показателей разработки скоплений углеводородов;
 - изменение воспроизводственной структуры капитальных вложений в нефтегазодобывающую промышленность отдельных регионов;
 - длительные периоды эксплуатации нефтегазовых объектов и т.д.

Свои специфические особенности имеет и буровое производство, магистральный транспорт нефти и газа, нефтегазопереработка и сбыт нефтепродуктов, а также различные виды производственно-технического обслуживания и др. [1.9, 1.10, 1.14].

Методологической основой выявления и детального описания представленных выше особенностей нефтегазового производства, обеспечивающей принятия «оптимальных – субъективных» управленческих решений, является системный анализ [1.5, 1.15 - 1.18], выбор на его основе и применение соответствующих адекватных математических моделей для построения с их помощью компьютерной поддержки принятия решений.

Глава 2

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ТРАДИЦИОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Возникновение и роль математических методов в принятии управленческих решений

После Второй мировой войны в экономике все шире стали применяться математические методы оптимизации управленческих решений, позволяющие найти лучшие варианты при заданных ресурсных, экологических, социальных и других ограничениях. Толчком к широкому применению этих методов послужило привлечение ученых к оптимальному выбору целей англо-американской авиации и решению некоторых военных задач. Это было сделано впервые в истории. Были разработаны мощные экономико-математические модели, с помощью которых не только находились оптимальные решения при заданных исходных данных, но в тех случаях, когда это возможно, варьировались сами исходные данные в поиске лучших стартовых условий. Широкая возможность применения этих методов возникла в связи с интенсивным внедрением вычислительной техники в системы управления корпорациями, фирмами и организациями других типов во второй половине XX века.

Управление производством в быстроменяющемся мире в условиях жесткой конкуренции и все усложняющихся маркетинговых, производственных и экономических процессов стало невозможно без использования компьютерных технических средств и реализуемых на них математических методов. Сегодня трудно себе представить организации от маленькой фирмы до транснациональной корпорации, в которых бы в том или ином виде ни использовались вычислительные комплексы для решения управленческих задач.

В качестве примера сложной экономической системы в нефтегазовой отрасли приведем сеть магистральных нефтепроводов, резервуарных парков, пунктов слива и перевалки нефти, показанных на рис. 2.1 [2.1]. Она представляет собой технологическую интегрированную систему предприятий (Единую систему нефтеснабжения РФ) с централизованным управлением.

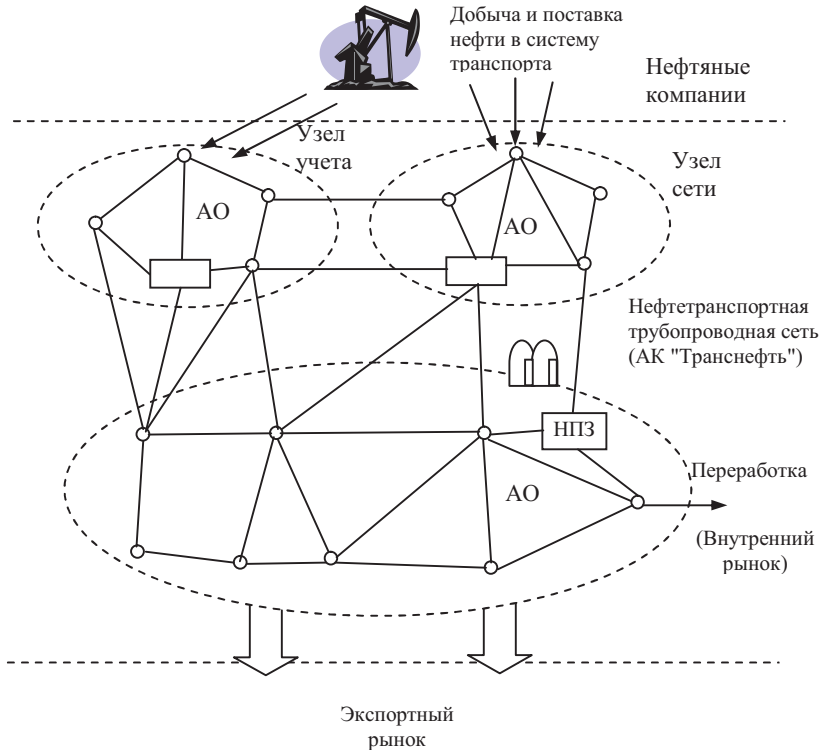


Рис. 2.1

Нефтетранспортная сеть характеризуется большим числом элементов (нефтепроводов, нефтеперекачивающих станций, резервуарных мощностей, пунктов налива и перевалки), рассредоточенных на значительной территории, объединенных в региональные подсистемы и связанных между собой сложными динамическими связями,

развивающимися и изменяющимися в процессе функционирования. Управлять такой системой без использования высокопроизводительных компьютерных систем и сетей, а также использования математических методов было бы невозможно. Для управления этой системой созданы и развиваются соответствующие автоматизированные системы управления, которые, впрочем, в полной мере еще не решают описанные выше все усложняющиеся проблемы компьютеризации управления. Схему, подобную рис.2.1, можно представить и по любому нефтегазовому промыслу с той лишь разницей, что узлом сети может быть куст скважин, а нефтетранспортная сеть – это нефтепромысловый коллектор и т.д., хотя, конечно, в каждом конкретном случае (промысле) эта схема будет гораздо сложнее и будет результатом работы по проектированию схемы обустройства месторождения. Очевидно, что для успешного использования высокопроизводительных компьютерных систем и сетей, а также использования математических методов для каждого из объектов управления подразделов нефтегазового производства, представленных на рис. 1.4, необходимо составляется своя подобная рис. 2.1 схема.

Поэтому продолжает оставаться актуальной необходимость создания для подобного рода сложных систем комплексов компьютерных СППР, как нового класса вычислительных систем. Они должны быть предназначены для комплексной поддержки принятия решений от оперативного воздействия до стратегического управления и формирования целей. СППР должна также давать возможность осуществлять управление на основе гибких экстренных решений. Начнем рассмотрение с анализа состояния развития традиционных автоматизированных систем управления (АСУ).

2.2. Структура и классификация систем управления

Структурно система управления, независимо от технических средств ее реализации, состоит из функциональной и обеспечивающей частей [2.2, 2.3].

А. Функциональная часть системы управления

Функциональная часть – это комплекс административных, организационных и экономико-математических методов, реализующих решение задач планирования, учета и оперативного управления при

принятии решений должностными лицами предприятий и учреждений.

Методы управления в любой системе представляют собой способы и формы целенаправленного воздействия на объект управления. В организационно-экономических системах (предприятия, учреждения, фирмы, компании и др.) известны три тесно взаимодействующих метода управления: экономические, организационно-распорядительные (административные) и социально-психологические.

Экономические методы управления включают в себя систему планирования и систему экономических рычагов, к числу которых относят самоокупаемость, ценообразование, кредитование, материальное стимулирование, инновации и др.

Организационно-распорядительные методы управления определяют статику и динамику административного воздействия на объект управления. Обычно их подразделяют на организационные и распорядительные. Методы организационного воздействия – это регламентирование (структуры управления производством и положения о подразделениях и лицах); нормирование (нормативы осуществления различной деятельности по управлению и производству); методическое инструктирование (инструкции по выполнению процессов и операций управлению и производству). Методы распорядительного воздействия – это приказы и распоряжения.

Социально-психологические методы управления обычно реализуются с помощью планов социального развития производственного коллектива и предусматривают мероприятия, направленные на улучшение условий труда, повышений уровня материального благосостояния, удовлетворение социальных, культурных и др. потребностей работающих.

Применительно к любому предприятию с помощью перечисленных методов управления обычно реализуются следующие *основные функции управления*:

- общее линейное руководство;
- техническая подготовка производства (разработка и совершенствование конструкций изделий);
- технологическая подготовка производства (разработка и совершенствование технологических процессов);
- обеспечение производства инструментом и оснасткой;

- маркетинг;
- технико-экономическое планирование (стратегическое и тактическое);
- совершенствование организации производства и управления;
- стандартизация и нормализация продукции, технологических процессов и других элементов производства;
- ремонтное и энергетическое обслуживание;
- контроль и совершенствование качества продукции;
- оперативное управление производством;
- бухгалтерский учет и финансовая деятельность;
- организация труда и заработной платы;
- материально-техническое снабжение, кооперирование и сбыт продукции;
- комплектование и подготовка кадров;
- экология, охрана труда и техника безопасности;
- общее делопроизводство;
- хозяйственное обслуживание.

В традиционных АСУ задачи, для решения которых применяются средства вычислительной техники, являются частью функции управления (она называется обычно функциональной подсистемой).

Укрупненная схема взаимосвязей основных функций управления на предприятии в современных условиях, на основании которой строится работа функциональной части АСУ, представлена на рис. 2.2 [2.2].

На рис.2.2 введены следующие обозначения: ТЭП – технико-экономическое планирование; ТПП – техническая подготовка производства; ОУОП – оперативное управление основным производством; МТС – материально техническое снабжение; БУ и ФД – бухгалтерский учет и финансовая деятельность.

Важно отметить, что АСУ сегодня может выполнять не все перечисленные функции, более того, реализовывать только часть функций, а не всю их совокупность целиком. Отдельные автоматизированные подсистемы могут функционировать самостоятельно и не быть объединены в общую систему. Но тенденция развития АСУ – интеграция подсистем в единый комплекс, а также реализация в АСУ максимального числа функций.

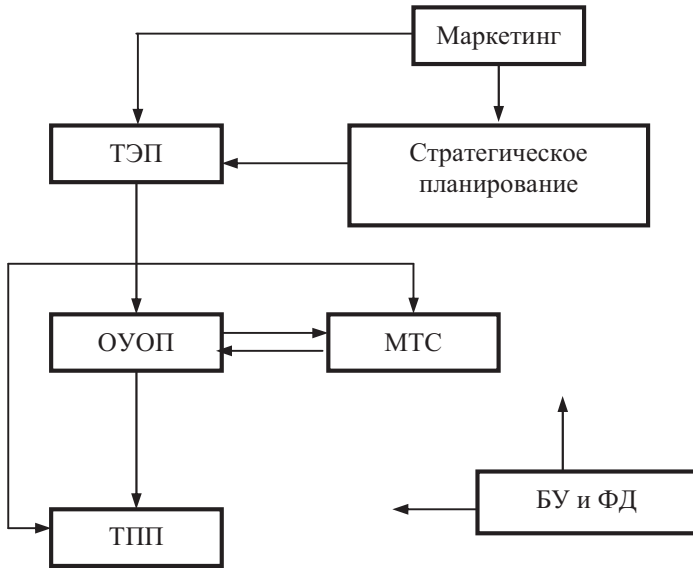


Рис. 2.2

В. Обеспечивающая часть подсистемы управления

Обеспечивающая часть включает в себя методическое, правовое, эргономическое, математическое, информационное, программное, техническое, лингвистическое и организационное обеспечения.

Методическое обеспечение представляет собой совокупность документов, поддерживающих процессы проектирования, внедрения и эксплуатации. Одной из основных задач методического обеспечения является унификация и стандартизация.

Правовое обеспечение представляет собой совокупность норм, выраженную в нормативных актах, устанавливающих и закрепляющих организацию процессов проектирования, внедрения и эксплуатации.

Эргономическое обеспечение – это совокупность методов и средств, обеспечивающих оптимизацию условий деятельности человека в условиях автоматизированного управления.

Эти составляющие обеспечивающей части могут реализовываться и реализуются, как в АСУ, так и вне ее. Все составляющие обеспечивающей части, перечисленные ниже, характерны только для АСУ.

Математическое обеспечение АСУ представляет собой совокупность математических, экономико-математических методов, моделей и алгоритмов управления заданным объектом.

Информационное обеспечение (ИО) АСУ предназначено для хранения, поиска и доступа к информационным ресурсам, на основе которых реализуется управление технологическим процессом АСУ. Информационное обеспечение представляет собой совокупность единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных систем документации и информационных массивов, используемой при решении функциональных задач в АСУ.

Программное обеспечение АСУ – совокупность программ реализующих цели и задачи системы управления и обеспечивающих функционирование комплекса технических средств АСУ. Оно делится на общесистемное, обеспечивающее функционирование комплекса технических средств и специальное предназначенное для решения функциональных задач АСУ.

Лингвистическое обеспечение АСУ – совокупность научно-технических терминов и других языковых средств (языков программирования), используемых в АСУ, а также правил формализации естественного языка, включая методы сжатия и развертывания текстов, в целях повышения эффективности обработки информации и облегчения человека и машины.

Техническое обеспечение АСУ – это комплекс технических средств, взаимосвязанных единым управлением.

2.3. Структура и классификация автоматизированных систем управления

ГОСТ 34.003-90 дает следующее определение автоматизированной системе управления: «АСУ – система «человек-машина», обеспечивающая эффективное функционирование объекта, в которой сбор и обработка информации, необходимой для реализации функ-

ций управления, осуществляется с применением средств автоматизации и вычислительной техники».

Одним из важнейших направлений работ при создании АСУ является организационная подготовка или обеспечение. Они включают в себя решение таких вопросов как: определение перечня задач, подлежащих автоматизации, определение очередности разработки подсистем, разработка методики и постановка решения задач в АСУ, совершенствование организационной структуры управления предприятием, совершенствование организационных и методологических принципов управления, выбор методологии и принципов проектирования АСУ, обучение персонала работе в условиях АСУ и т.д. То есть организационное обеспечение (подготовка) есть обеспечивающая часть АСУ, в равной степени присущая как функциональной, так и обеспечивающей ее частям [2.3].

На рис. 2.3 представлена классификация АСУ, выполненная по трем классификационным признакам [2.2]: объектам управления, иерархии управления и уровню автоматизации. На этом рисунке АСУТП – АСУ технологическими процессами; АСОУ – АСУ организационного управления, которые часто называются также АСУОЭ – АСУ организационно-экономического управления; ИАСУ – интегрированные АСУ; ОАСУ – отраслевые АСУ; АСУП – АСУ предприятия; АСУО – АСУ объединения; ИПС – информационно-поисковые системы; ИСС – информационно-советующие подсистемы; ИУС – информационно-управляющие системы.

На основании первого признака классификации объектом управления АСУТП являются машины, системы машин и технологические процессы. Например: газоперекачивающие агрегаты, установки по переработки нефти, нефтяные и газовые скважины, процессы добычи и транспорта нефти и газа и др. В АСОУ (на уровне цеха, предприятия и выше) – это как отдельные люди, так и коллективы людей, объединенные в определенные структурные подразделения предприятия. В АСУТП информация передается сигналами, а в АСОУ – с помощью документов.

В большинстве случаев АСУТП представляет двухуровневую систему управления. Нижний уровень включает контроллеры, обеспечивающие первичную обработку информации, поступающей непосредственно с объекта управления (скважины, трубопровода, нефтя-

ного насоса, и т. п.). Программное обеспечение контроллера обычно реализуется на технологических языках. Верхний уровень АСУТП составляют мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и рабочих станций, обеспечивающие хранение, анализ и обработку всей поступающей информации, а также взаимодействие с оператором. Основой программного обеспечения верхнего уровня являются пакеты SCADA (Supervision Control And Data Acquisition – супервизорное управление и доступ к данным).

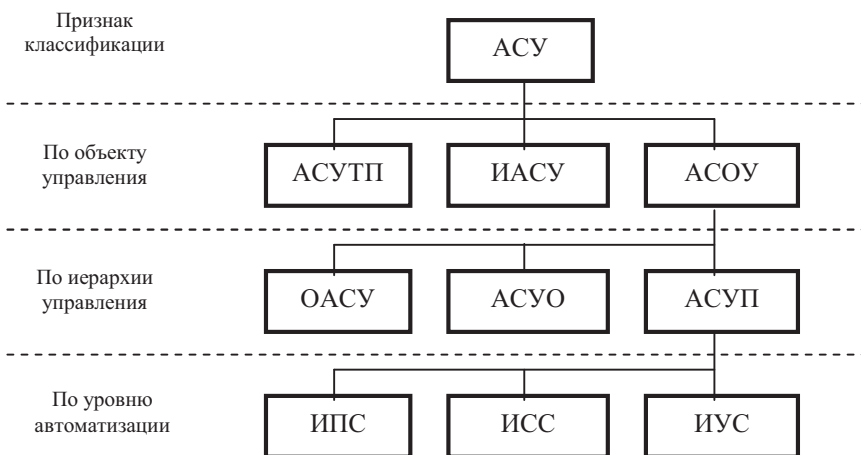


Рис. 2.3

В последнее время (особенно в нефтяной и газовой промышленности в силу ее особенности, где очень трудно разделить технологию и людей) появился новый класс АСУ – ИАСУ, объединяющий в одну систему АСУТП и АСОУ. АСУТП работают в реальном масштабе времени и строятся на основе средств вычислительной техники, позволяющих получать на выходе системы электрические сигналы. Это дает возможность интегрировать, например АСУТП и АСУП, минуя ручной ввод оперативной информации в АСУП. Такие системы называют интегрированными системами управления предприятиями – ИАСУП.

Иерархия реализации функций и задач управления отражена во втором признаке классификации. Различные АСУ в соответствии с этим признаком классификации отличаются, прежде всего, степенью агрегированности информации, на основании которой принимаются управленческие решения и масштабом самих принимаемых решений (решаемых задач управления).

В соответствии с третьим признаком классификации различные АСУ существенно отличаются по уровню автоматизации. ИПС предназначены для записи и длительного хранения информации, которая считывается по запросу. Такая система может быть самостоятельной и представлять собой некоторую библиотечную автоматизированную систему или входить составной частью, например в АСУП. Обычно ИПС относят к классу документальных систем – таких систем, в которых информация хранится и используется в виде неизменяемых документов, например статей, книг, рефератов и т.п. В противоположность ИПС остальные виды АСУ – это фактографические системы, то есть системы, оперирующие анализируемыми и преобразуемыми сведениями (факторами) например, дебиты скважин, сведения о кадровом составе предприятия, различные плановые задания и графики их выполнения и т.п.

ИСС вырабатывают для руководителя соответствующие решения – советы в логической, числовой или символической форме, в виде таблиц, графиков и др., при этом окончательное решение остается за человеком. В ИСС широко используется диалоговый режим и в этом смысле по состоянию развития ИСС в настоящее время следует считать прототипом компьютерных СППР.

ИУС фактически является синонимом автоматической системы управления в виде, например гибкого автоматизированного производства (компьютерного интегрированного производства – КИП).

Кроме того, в настоящее время, автоматизированное управление все шире используется в различных областях (не только на производстве): науке, проектной деятельности, обучении и др., образуя, например, такие системы как: АСНИ – автоматизированные системы научных исследований, САПР – системы автоматизированного проектирования и др., которые также могут быть классифицированы по рассмотренным выше трем признакам.

2.4. Эволюция методологий построения АСУ

Уже до 1985 г. XX в. в нашей стране было введено в строй свыше 6000 традиционных АСУ различных классов [2.2]. Распад СССР сильно замедлил в России работы по построению и внедрению АСУ и особенно по созданию реально действующих компьютерных СППР. Однако в последние пять, семь лет в этой области наблюдается определенный прогресс. В традиционных АСУП (будем их далее рассматривать как базовые АСУ) наметился переход от элементного и подсистемного построения к процедурному, который в наибольшей степени способствует созданию действительно компьютеризированной системы управления предприятием (компьютерных СППР), способных адекватно реагировать и адаптироваться на быстро изменяющуюся ситуацию. Рассмотрим эту эволюцию подробнее.

А. Элементный подход

Элементное создание (проектирование) АСУ [2.3] развивается в нашей стране примерно с 1966 г. и характеризуется, прежде всего, применением средств вычислительной техники для решения отдельных конкретных, очень часто небольших задач управления, решаемых различными структурными подразделениями предприятий и учреждений. При таком подходе АСУ создавались для тех или иных задач функций управления предприятием с использованием типовых проектных решений (ТПР). Под ТПР обычно понималась типовая проектная документация по экономическому, математическому, информационному, программному и техническому обеспечению автоматизированного решения задач функций управления (см. выше). Она агрегировалась с оригинальной проектной документацией, отражающей специфику объекта. Одной из существенных трудностей создания АСУ этим методом является проблема дифференциации системы на элементы и адаптация ТПР на конкретный объект.

В. Подсистемный подход

В 70-80 годах активно развивался подсистемный подход к построению АСУ [2.3]. Здесь обычно в качестве подсистемы (элемента) АСУ выступали не отдельные задачи, а совокупность задач, связывающихся в описанные выше функции управления. При таком под-

ходе АСУ состояла из функциональных подсистем. Основной подсистемной методологии проектирования АСУ являлось широкое использование пакетов прикладных программ, которые могли быть настроены на конкретную предметную область. Основная трудность при таком подходе к созданию и эксплуатации АСУ состояла в том, что логика и интересы руководителя и логика разработчика АСУ друг от друга значительно отличались. Руководитель оказывался «оторванным» от формирования решения и, в итоге, не понимал предлагаемые АСУ решения, хотя они часто и объявлялись разработчиками оптимальными. Такой подход к автоматизации решения задач управления оказался слишком «неповоротливым» чтобы успевать за быстрыми и резкими изменениями условий решения задач, не говоря уже о решении новых задач. Кроме того, поскольку функция управления могла на различных предприятиях реализовываться в рамках различных структурных подразделений, возникали большие трудности в построении эффективно работающего информационного обеспечения АСУ. Поэтому в начале 80-х годов возник объектный метод проектирования АСУ [2.3,2.4], основанный на том, что АСУ расчленялась на подсистемы не только по функциям управления, но и по информационной автономности объектов управления. Такая схема приводила к выделению подбаз данных, которые могли использоваться автономно и обрабатываться последовательно. Обычно подбазы данных, соответствующие выделенному объекту, носили в соответствии со структурой управления иерархический характер и имели минимум информационных связей друг с другом. Наиболее характерными представителями этого класса АСУ являются АСУ Львовским телевизионным заводом, АСУ «Сигма», АСУ «Кунцево» [2.4].

С. Процедурный подход

В конце 80-х годов в России (за рубежом – это 60-годы) начал формироваться и продолжает развиваться сегодня процедурный (процессный) подход к созданию АСУ. Основной идеей процедурного представления является упорядочение задач, то есть выстраивание их при решении в технологические цепочки (бизнес процессы), за реализацию которых назначаются ответственные менеджеры, и в которых могут присутствовать задачи из различных функциональных

подсистем. Поэтому при этой методологии создания АСУ происходит компьютеризация управления структурными элементами, а место подсистем занимают бизнес процессы. Задачи АСУП формируются в виде бизнес функций. Сегодня нет устоявшегося определения бизнес-процесса (их можно насчитать более 15 [2.2]). В стандартах ИСО 9000 (точнее серии стандартов ИСО 9000 – ИСО 9004; ISO – эта аббревиатура английского названия International Standart Organisation; в России это национальные стандарты ГОСТ Р ИСО 9000: 2001 – ГОСТ Р ИСО 9004: 2001), которые сегодня положены в основу функционирования любой современной организации и составляют основу «Системы менеджмента качества» (СМК), следующие определения [2.2]:

- *процесс* – это совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих «входы» в «выходы»;

- *бизнес-функция (функциональная роль)* – набор элементарных предписаний, которые могут быть привязаны ко времени или иметь другие условия запуска. Для компьютера – это программа, для человека – инструкция;

- *бизнес-процесс* – это процесс, добавляющий стоимость. В АСУ это определение обычно трактуется как множество из одной или нескольких связанных операций или процедур. В совокупности они реализуют некоторую цель производственной деятельности, осуществляемое обычно в рамках заранее определенной структуры, которая описывает функциональные роли участников этой структуры и отношения между ними.

Следует отметить роль International Standart Organisation (ISO, ИСО) – международной организации по стандартизации, существующей с 1948 года. В соответствии с уставом ISO целью организации является «содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для обеспечения международного товарообмена и взаимопомощи, а также для расширения сотрудничества в области интеллектуальной и экономической деятельности» (извлечение из устава) [2.5]. Наряду с несомненными достоинствами стандартов ИСО, рассмотренных выше, они обладают и рядом недостатков, обсуждаемых в разд. 2.6.

Процедурное (процессное) построение АСУ [2.2] предполагает использование результатов решенных задач при этом в качестве элементов процедуры могут быть как формальные процессы (математическое решение задачи), так и неформальные процедуры с участием руководителя; процедурное построение АСУ предполагает также выделение трех направлений управления:

- ресурсами (материалы, энергия, трудовые ресурсы, техническая информация, оборудование, финансовые ресурсы); задачи управления ресурсами относятся к числу классических методик управления и являются первыми, широко использующими информационные технологии, такие как СУБД, Workflow и др.;
- процессами (видами работ при реализации функций управления – планирование, организация, координация, диспетчеризация учет и контроль, анализ и стимулирование);
- корпоративными знаниями (коммуникациями).

Д. Управление материальными ресурсами

Первоначально была разработана методология планирования материальных ресурсов предприятия MRP (Material Requirements Planning), которая использовалась совместно с методологией объемно-календарного планирования MSP (Master Shedule Planning). Следующим шагом было создание методологии планирования производственных ресурсов материалов и комплектующих изделий – CRP (Capacity Requirements Planning), подобной MRP, но, в основном, ориентированной на расчет производственных мощностей. Их объединение привело к появлению методологии MRP II (Manufacturing Resource Planning) – планирование производственных ресурсов - материалов, оборудования, финансов. Далее была предложена концепция ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия), предназначенная для интегрированного планирования всех бизнес ресурсов предприятия. Укрупненная схема такой ERP системы представлена на рис. 2.4 [2.2,2.5].

Следующим шагом было создание концепции управления производственными ресурсами CSR (Customer Synchronized Resource – планирование ресурсов, синхронизированное с потреблением). Отличием этой концепции является учет вспомогательных ресурсов, связанных с маркетингом, продажей и послепродажным обслужива-

нием. Суть этой концепции состоит в учете при анализе хозяйственной деятельности всей цепочки (сети), называемой логистической цепочкой (Supply Chain) превращения товара из сырья в готовое изделие. Предприятие в этом случае представляет собой производственно-сбытовую систему (ПСС), связывающую воедино такие сферы как маркетинг – создание новых изделий – снабжение - производство – сбыт – доставку продукции потребителю – сервисное обслуживание и использующую для достижения технологической эффективности в качестве главной бизнес модели предприятия MRP/ERP стандарты.

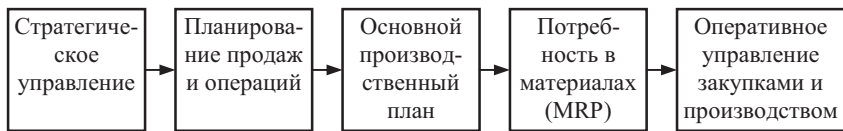


Рис. 2.4

Дальнейшим развитием концепции логистических цепочек является идея виртуального предприятия (бизнеса), представляющего собой распределенную систему нескольких компаний и охватывающего полный жизненный цикл товара, или разделение одной компании на несколько «виртуальных бизнесов».

Изменилась и терминология. АСУ стали называть корпоративными информационными системами (КИС) – системами, поддерживающими оперативный и управленческий учет на предприятии и предоставляющими информацию для принятия управленческих решений.

Системы этого класса ориентированны на работу с финансовой информацией для решения задач управления большими корпорациями с разнесенными территориально ресурсами. Сюда включается все, что необходимо для получения ресурсов, изготовления продукции, ее транспортировки и расчетов по заказам клиентов. Помимо перечисленных функциональных требований, ERP системам предъявляются и новые требования по применению графики, использованию реляционных баз данных (объектно-ориентированных, хранилищ данных), CASE (Computer Aided Software/System Engineering)–

технологий для их развития, архитектуры вычислительных систем типа «клиент-сервер» и реализации их как открытых систем.

CASE – технология представляет собой [2.5, 2.6] совокупность методологий анализа, проектирования, разработки и сопровождения сложных систем программного обеспечения, поддержанную комплексом взаимоувязанных средств автоматизации. CASE – это инструмент для системных аналитиков, разработчиков АСУ и программистов, заменяющий им бумагу и карандаш для автоматизации проектирования и разработки программного обеспечения (ПО). CASE позволяет не только создавать «правильные» продукты, но и обеспечивает «правильный» процесс их создания. Основная цель CASE состоит в том, чтобы отделить проектирование ПО от его кодирования и последующих этапов разработки, а также скрыть от разработчиков все детали среды разработки и функционирования ПО. CASE базируется на семействе стандартов (технологий, средств автоматизации) IDEF (**I**ntegrated **C**omputer **A**utomated **M**anufacturing **D**EFinition), которое насчитывает более десяти стандартов, из которых наиболее часто используются IDEF0, IDEF1, IDEF3:

- IDEF0 – моделирование функций;
- IDEF1 – информационное моделирование;
- IDEF3 – описание (документирование) процессов.

Стандарты MRP/ERP поддерживаются Американским обществом по контролю за производственными запасами APICS (American Production and Inventory Control Society). MRP/ERP – это набор проверенных на практике разумных принципов, моделей и процедур управления и контроля, служащих повышению показателей экономической деятельности предприятия. Так изданный в 1989 г. стандарт MRP II Standart System, содержит 16 групп функций производственно-сбытовой системы[2.2, 2.5, 2.7]:

- Планирование продаж и производства (Sales and Operation Planning);
- Управление спросом (Demanded Management);
- Составление плана производства (Master Production Scheduling);
- Планирование материальных потребностей (Material Requirements Planning);
- Спецификация продуктов (Bill of Materials);

- Управление запасами (Inventory Transaction Subsystem);
- Управление плановыми поставками (Scheduling Receipts Subsystem);
- Управление на уровне производственного цеха (Shop Flow Control);
- Планирование производственных мощностей (Capacity Requirements Planning);
- Контроль качества входа/выхода продукции (Input/output Control);
- Материально техническое снабжение (Purchasing);
- Планирование ресурсов для распределения (Distribution Resource Planning);
- Планирование и контроль производственных операций (Tooling Planning and Control);
- Управление финансами (Financion Planning);
- Моделирование для производственной программы (Simulation);
- Оценка результатов деятельности (Performance Measurement).

Надо отметить, что с накоплением опыта моделирования производственных и непроизводственных бизнес-процессов автоматизируемые процедуры постоянно уточняются и расширяются. Среди них можно указать на такие как [2.2]:

- HRM (Human Resource Management) – управление персоналом;
- PLM (Product Lifecycle Management) – управление жизненным циклом изделия;
- EAM (Enterprise Assets Management) – управление бизнес активами);
- CSRP (customer Synchronized Resource Planning) – планирование ресурсов синхронизированное с потребителями);
- COMMOS (Customer Oriented Manufacturing Management System) – система управления производством, ориентированная на покупателя;
- PRM (Partnership Relation Management) – управление отношениями с партнерами;

- SCP (Supply Chain Planning) – планирование логистических цепочек;
- SCM (Supply Chain Management) – управление логистическими цепочками;
- SCE (Supply Chain Supply Chain) – исполнение логистических транзакций;
- SCEM (Supply Chain Event Management) – управление событиями в логистической цепочке.

Заключая описание функций ERP систем, надо сказать, что они в основном ориентированы на планирование и выполнение заказов, то есть в широком смысле отвечают на вопрос: когда и сколько продукции должно быть произведено?

Е. Управление процессами

В последнее время стали развиваться MES системы – MES (Management Execution System – системы управления процессами), часто называемыми системами управления исполнением (производственных заданий) или системы диспетчеризации.

MES системы фокусируются на вопросе, как в действительности производится продукция, и оперирует более точной информацией о производственных процессах. Главное отличие MES от ERP заключается в том, что [2.8] MES системы оперируя исключительно производственной информацией, позволяют корректировать либо полностью пересчитывать производственное расписание в течение рабочей смены столько раз, сколько это необходимо. В ERP системах по причине большого объема административно-хозяйственной и учетно-финансовой информации, которая непосредственного влияния на производственный процесс не оказывает, перепланирование может осуществляться не чаще одного раза в сутки. Кроме того, MES системы формируют данные о текущих производственных показателях, включая реальную себестоимость продукции, необходимые для более качественного функционирования ERP систем.

Международная ассоциация производителей систем управления производством MESA определила одиннадцать типовых обобщенных функций MES систем [2.8]:

- *Контроль состояния и распределения ресурсов (RAS)* – Управление ресурсами производства: технологическим оборудова-

нием, материалами, персоналом, документацией, инструментами, методиками работ.

- *Оперативное/детальное планирование (ODS)* – Расчет производственных расписаний, основанный на приоритетах, атрибутах, характеристиках и способах, связанных со спецификой изделий и технологией производства.

- *Диспетчеризация производства (DPU)* – Управление потоком изготавливаемых деталей по операциям, заказам, партиям, сериям, посредством рабочих нарядов.

- *Управление документооборотом (DOC)* – Контроль содержания и прохождения документов, сопровождающих изготовление продукции, ведение плановой и отчетной цеховой документации.

- *Сбор и хранение данных (DCA)* – Взаимодействие информационных подсистем в целях получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде предприятия.

- *Управление персоналом (LM)* – Обеспечение возможности управления персоналом в реальном масштабе времени.

- *Управление качеством продукции (QM)* – Анализ данных определения качества продукции в режиме реального времени на основе информации поступающей с производственного уровня, обеспечение должного контроля качества, выявление критических точек и проблем требующих особого внимания.

- *Управление производственными процессами (PM)* - Мониторинг производственных процессов, автоматическая корректировка либо диалоговая поддержка решений оператора.

- *Управление техобслуживанием и ремонтами (MM)* - Управление техническим обслуживанием, плановым и оперативным ремонтом оборудования и инструментов для обеспечения их эксплуатационной готовности.

- *Отслеживание истории продукта (PTG)* – Визуализация информации о месте и времени выполнения работ по каждому изделию. Информация может включать отчеты: об исполнителях, технологических маршрутах, комплектующих материалах, партионных серийных номерах, произведенных переделках, текущих условиях производства и т.п.

- *Анализ производительности (РА)* – Предоставление подробных отчетов о реальных результатах произведенных операций. Сравнение плановых и фактических показателей

MES системы, быстро реагируя на изменения в производстве, обеспечивают информационную поддержку принятия решений с целью снижения производственных затрат. Они реализуют в реальном времени непосредственную связь производственных процессов с бизнес процессами предприятия и улучшают финансовые показатели предприятия (cash flow), включая отдачу основных фондов, своевременность поставок, оборот денежных средств, размер прибыли и производительность производства. Поэтому MES системы в иерархии автоматизации управления предприятием находятся между ERP системами и АСУ ТП (SCADA системами).

Заключая этот раздел, отметим, что ERP, MES системы большей частью реализованы для дискретных и машиностроительных производств, и поэтом в каждом конкретном случае, в частности, для других типов производств, реализованные на их основе информационные технологии представляют собой «ноу-хау» фирм-разработчиков, включая их понимание процессов компьютерной поддержки принятия решений.

Сегодня сложность создания и использования современных ИСС, к которым в определенной степени можно отнести ERP, MES системы, определяется трудностями формирования алгоритмов этапов анализа, выработки вариантов решений и принятия решений в цикле управления.

Обычно алгоритмизацией этих этапов занимаются разработчики АСУ (в лучшем случае совместно с пользователем). Пользователь вводит данные и получает результат, который часто как по объему, так и по смыслу трудно обозрим, например исходные данные для составления какого либо расписания и само расписание. Поэтому, обычно результаты расчетов пользователя (руководителя) удивляют, и он хочет получить (и не получает) объяснения, КАК и ПОЧЕМУ получено (советуется) то или иное решение.

Поэтому сегодня оказалось, что даже современные ERP, MES системы не приспособлены осуществлять управление на основе гибких экстренных решений (см. раздел 1.2) и выстраивать компьютерную систему управления, как комплекс взаимосвязанных СППР, со-

стоящий из трех связанных между собой параллельно работающих подсистем: поддержки оперативного управления, поддержки стратегического управления и поддержки системы формирования целей, позволяющих осуществлять управление на основе гибких экстренных решений.

Ф. Управление корпоративными знаниями

Одним из важнейших ресурсов современного предприятия, которое способно значительно повлиять на повышение его конкурентоспособности, инвестиционной привлекательности и капитализации, являются корпоративные знания [2.9, 2.10, 2.11]. Потери от неэффективного использования корпоративных знаний, особенно для крупных компаний могут исчисляться достаточно крупными суммами.

Управление корпоративными знаниями или просто «управление знаниями» (Knowledge Management –КМ) – это установленный в корпорации формальный порядок работы с информационными ресурсами для облегчения доступа к знаниям и повторного их использования с помощью современных информационных технологий [2.11]. При этом знания классифицируются (например, описанным выше способом) и распределяются по категориям в соответствии с предопределенной, но развивающейся онтологией структурированных и полуструктурированных баз данных и баз знаний.

Под корпоративными знаниями обычно понимают различную деловую информацию, которую необходимо иметь для поддержки на высоком уровне основных бизнес-процессов предприятия, а также для быстрого реагирования на динамику рынка. Например, проекты, выполняемые на предприятии, всегда сопровождаются большим количеством формальной и неформальной информации, содержащейся в договорах, технических заданиях, служебных записках, протоколах, отзывах экспертов и т.п. Часть этой информации находится в архивах на файловых серверах, часть в локальных папках на компьютерах пользователей, часть в почте и в Интернет, план проекта на сервере системы управления проектом.

При самом общем рассмотрении корпоративные знания можно ориентировочно разделить на несколько категорий [2.10]:

- *Знания бизнес-процессов компании.* В эту категорию можно отнести не только производственно-технологическую информацию, но

и соответствующую сопроводительную справочную, финансовую, юридическую документацию, навыки и опыт персонала.

- *Знания корпоративной культуры.* Они в первую очередь связаны корпоративными стандартами взаимодействия персонала с клиентами в различных ситуациях (правила, процедуры), а также с принципами межличностных коммуникаций между сотрудниками. Кроме того, всегда существуют неписанные правила, незнание которых может сильно мешать успешному старту новичков компании.

- *Знания о внешней среде компании.* В эту категорию можно включить состояние дел в сегментах рынка, на которых присутствует компания в данный момент, ситуацию в перспективных рыночных нишах, которая может быть освоена в будущем, а также сегменты рынка, которые могут косвенно повлиять на бизнес компании. Также очень важно получать достоверную информацию о конкурентах и их действиях, политических изменениях в различных регионах мира, которые постоянно влияют на специфику ведения бизнеса. Да и зная партнеров лучше, можно заранее проработать более эффективные пути взаимовыгодного сотрудничества. А что уж говорить о знании особенностей клиентов и их законодательной среды.

- *Навыки применения информационных технологий (ИТ).* ИТ стали важными составляющими управления корпоративными знаниями. Уже стало насущной необходимостью применение ИТ для автоматизации деятельности компании. В массе случаев ИТ уже неотделимы от различных бизнес процессов. И новый сотрудник, пришедший в компанию, должен как можно быстрее освоить новые для него информационные технологии. Да и «аборигенам» компании тоже приходится постоянно учиться, так как постоянная модернизация средств коммуникации и обработки информации стала неотъемлемой реальностью бизнеса.

- *Личные знания сотрудников.* Естественно, что повышение уровня компетенции сотрудников также входит в управление корпоративными знаниями. Такие знания содержат не только навыки и умения, на основании которых сотрудник занимает соответствующую должность. У него также есть информация, которая может прямо или косвенно помочь коллегам в выполнении их непосредственных задач, например, знание малоизвестных источников ценной информации, выводы о возможности оптимизации некоторых бизнес-

процессов, которые даже не касаются данного сотрудника лично. Кроме того, по мере эволюции рыночной среды может выясниться, что ранее невостребованные знания персонала, вокруг начали становиться актуальными для бизнеса компании.

Основная цель КМ – сделать знания доступными и повторно используемыми на уровне корпорации. В конечном итоге результатом внедрения системы управления корпоративными знаниями должно считать повышение скорости и качества бизнес-решений, увеличение объема ценных знаний, которые сохраняются в компании, несмотря на различные миграции персонала.

Для применения систем КМ используются разнообразные технологии: электронная почта, базы и хранилища данных, системы групповой поддержки, браузеры и системы поиска, корпоративные сети и Интернет, экспертные системы, системы баз знаний и т.д.

2.5. Система управления качеством

Обобщенная модель системы управления качеством (в литературе ее называют также системой менеджмента качества - СМК) представлена на рис. 2.5. [2.2, 2.12].

Суть работы этой модели СМК в самых общих чертах состоит в том, что она обеспечивает *постоянное улучшение* – повторяющуюся деятельность по улучшению качества продукции и все более полного удовлетворения требований потребителя. Улучшение предполагает анализ существующего положения, формирование целей улучшения, поиск и выполнение решений по улучшению, измерение, анализ и проверку результатов выполнения.

Иногда модель, приведенную на рис. 2.5, называют PDCA – по именам Plan, GO, Check, Act блоков 4, 3, 2, 1 соответственно.

Здесь надо отметить, что сегодня представленная СМК понимается и реализуется как автоматизированная система менеджмента качества, однако на предприятиях, как правило, существует множество других автоматизированных систем. К их числу относятся описанные выше ERP/MRP, MES системы, различные специальные унаследованные системы, хранилища данных, системы связи с клиентами, и партнерами [2.8] и др. Поэтому возникает необходимость в создании интерфейсов с этими системами и интеграции их с СМК.



Рис. 2.5

2.6. Недостатки стандартов ИСО

Вместе с тем, даже интеграция СМК и ERP/MRP, MES систем, а также SCADA систем в единую интегрированную автоматизированную систему не всегда дает возможности построить компьютеризированную систему позволяющую осуществлять управление и отвечающую современным требованиям.

Проблема здесь состоит в том, что наряду с трудностями, описанными выше и присущими ERP/MRP и MES-системам, системы, построенные на основе стандартов ИСО 9000, обладают рядом принципиальных недостатков, которые обобщены в работе [2.13] под названием «10 аргументов против применения стандартов ИСО серии 9000». Наиболее существенными являются следующие недостатки:

- «... Отчеты стали способом управления, т.к. стандарты сконцентрированы на проблеме контроля и проверок»;

- «... Стандарты ИСО серии 9000 базируются на весьма сомнительном предположении, что лучшим способом управления работой служит использование установленных и контролируемых методик»;

- «... Стандарты ИСО 9000 не способствуют изучению менеджерами системного подхода и дисперсионного анализа. Напротив, стандарты прививают менеджерам веру в то, что следование установленным методикам способствует уменьшению дисперсии результатов работы. На самом деле, строгое следование этим методикам, может привести к увеличению дисперсии. Один из критиков стандарта пишет: «Я не хочу сказать, что люди не должны работать по правилам. Очевидно, что в некоторых случаях применение стандартных методов работы дает свои преимущества. Но в иных случаях может возникнуть вопрос не о том, правильно ли мы работаем, а занимаемся ли мы тем, чем следует»»;

- «... Стандарты ИСО развивают идею о том, что любая работа подразделяется на функции руководителей и исполнителей. Эта идея стала фундаментальной ошибкой 20-го века в области управления, и стандарты ИСО 9000 продолжают старую традицию, выражаемую формулой «менеджер решает – рабочий исполняет». Эта традиция ведет к управлению посредством постановки целей, распоряжения бюджетом, применения стандартов. В нее хорошо вписывается методология управления, основанная на приверженности к установленным процедурам. Между тем, управление при помощи бюджета, целей, стандартов и установленных процедур является псевдооптимальным. Оно служит источником нерационального расходования средств в организации. Хуже того, такой подход к управлению губителен для инноваций. Для того чтобы внедрять инновации, необходимо уметь взглянуть на организацию глазами потребителей ее продукции и услуг, необходимо управлять всеми процессами с начала и до конца. Требуются такие показатели, которые отвечают целям людей, непосредственно занятых работой. Создание необходимых условий для инноваций является составной частью системного подхода к управлению организацией, представляет сердцевину современных взглядов на качество. Он диаметрально противоположен тому подходу, который продвигают стандарты ИСО серии 9000».

Закljučая этот раздел, необходимо также отметить еще раз что, наряду с рассмотренными выше традиционными АСУ, проходили

становление и развивались «компьютерные системы поддержки принятия решений» (русская аббревиатура – СППР, английская DSS – Decision Support Systems), которые в большей степени свободны от недостатков традиционных АСУ и лучше приспособлены для реализации управления, исходя из современных требований обеспечивающих, в том числе, и реальные возможности внедрения инноваций.

Глава 3

РАЗВИТИЕ И МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

3.1. Формирование управленческих решений

Принятие решений - каждодневная деятельность человека, часть его повседневной жизни. Простые, привычные решения человек принимает легко, часто автоматически, не очень задумываясь. В сложных и ответственных случаях он обращается к друзьям, родственникам, опытным и знающим людям за подтверждением своего решения, несогласием с ним или за советом: каким могло бы быть другое решение. Часто обращаются к книгам, в том числе и религиозным, даже к астрологии и гаданиям. Такие обращения – это процесс поддержки принятия решения.

Принятие решения в большинстве случаев заключается в анализе ситуации, генерации возможных альтернатив решений их оценке и выборе лучшей альтернативы.

Принять «правильное» решение – значит, выбрать такую альтернативу из числа возможных, в которой с учетом всех разнообразных факторов и противоречивых требований будет оптимизирована общая ценность. Нахождение такой альтернативы во многом зависит от полноты и, что не менее важно, адекватности описания окружающей среды и функционирования объекта управления.

Сложность выбора альтернативы заключается в необходимости удовлетворения большого числа противоречивых требований, субъективности оценки ситуаций и выборе приоритетов, а также неопределенности в оценке реакции окружающей среды на наши действия и неточном понимании своих целей руководителями.

Для формирования управленческих решений, то есть нахождения лучшей альтернативы, очень давно возникли системы поддержки принятия решений. Это советы старейшин, жрецов, военные советы, коллегии, всевозможные совещания, комитеты, аналитические центры и т.д. Хотя они никогда не назывались системами поддержки принятия решения, но выполняли именно их задачи (в некоторых случаях частично). По мере усложнения возникающих перед ними задач их структура усложнялась, а численность возрастала. Это относится как к государственному аппарату, так и к управлению коммерческими организациями.

Как уже упоминалось в разд. 1.2, в связи с усложнением задач управления и широким использованием вычислительной техники для решения задач управления и развитием для этого АСУ (см. предыдущую главу), в начале семидесятых годов появился термин «системы поддержки принятия решений» (русская аббревиатура – СППР, английская DSS – Decision Support Systems).

В некоторых работах СППР рассматривается как информационная система, позволяющая быстро, легко и удобно анализировать большие объемы данных, и в удобном для восприятия виде представлять их специалистам. Однако сейчас начинает превалировать более широкий взгляд на СППР, требующий осуществления компьютерной поддержки на всех этапах принятия решений. Исходя из этого, СППР можно определить как человек-машинную систему, позволяющую руководителям, использовать свои знания, опыт и интересы, объективные и субъективные модели, оценки и данные для реализации компьютерных методов выработки решений и выполняющую, возможно частично, следующие функции [3.1 – 3.7]:

1. мониторинг внешней среды и внутреннего состояния производства, анализ его результатов, оказывающий помощь в оценке сложившейся ситуации;
2. выявление предпочтений руководителя в управлении производством, т.е. ранжирование приоритетов, учет неопределенности и субъективности в оценках и решениях;
3. генерацию возможных решений, т.е. формирование списка альтернатив (это может быть список возможных целей, стратегий, сценариев или оперативных решений);

4. оценку сгенерированных альтернатив, исходя из предпочтений руководителей и специалистов, а также ограничений, накладываемых внешней средой и внутренним состоянием производства;

5. анализ последствий (прогноз) результатов принимаемых решений;

6. поддержку переговоров при принятии согласованных групповых решений;

7. выбор лучшего, с точки зрения руководителя, варианта.

Компьютерная поддержка процесса принятия решений, так или иначе, основана на формализации методов получения исходных и промежуточных оценок, и алгоритмизации самого процесса выработки решений. Здесь необходимо сделать следующее замечание.

Хотя мы и говорим о компьютерной поддержке принятия решений, то есть об использовании формальных оценок и расчетов роль личных качеств специалиста (эксперта): его интеллект, субъективные оценки, эрудиция, умение находить решение и т.п. – не уменьшается, а, может быть, даже возрастает. Компьютерные системы поддержки принятия решений вводят новую составляющую в искусство принятия решений: искусство использования средств вычислительной техники, которое должно сочетать оценки и решения, полученные уже устоявшимися (или вновь разработанными) математическими методами, с субъективными оценками, сделанными на основе знаний, опыта и интуиции лица, принимающего решения. Это связано с тем, что на решение сильнейшее влияние оказывают субъективные предпочтения, поэтому в предложенных компьютером вариантах решений специалист должен видеть их тщательный учет, а не «абстрактное оптимальное» предложение, далекое от его взглядов и предпочтений.

Между сотрудником, работающим с руководителем и системой поддержки принятия решений, можно провести некоторую аналогию. Когда руководитель принимает на работу нового сотрудника, он старается его оценить и понять, сможет он с ним работать или сотрудник ему не подходит. С другой стороны, сотрудник, беседуя с предполагаемым начальником, тоже пытается понять, сможет ли он работать с будущим начальником или лучше сразу отказаться от этого. Это зависит от субъективных требований и индивидуальных особенностей как руководителя, так и сотрудника. Аналогично, каждый

руководитель, осваивая новую компьютерную систему, старается оценить ее характеристики и понять, удовлетворяет она его или он с ней работать не будет, т.е. он относится к ней как к будущему сотруднику.

С другой стороны, разработчики компьютерной системы поддержки принятия управленческих решений тоже должны себе представлять некоего «обобщенного руководителя» и создавать систему «под него», т.е. должны представить себе руководителя, на которого будет работать создаваемая ими система, и более того, должны уметь настраивать систему под предпочтения конкретного руководителя.

Формализация методов генерации решений, их оценки и согласования является чрезвычайно сложной задачей. Эта задача стала интенсивно решаться с возникновением вычислительной техники. Ее решение сильно зависело и зависит от характеристик доступных аппаратных и программных средств, степени понимания проблем, по которым принимаются решения, и методов формализации.

В самом общем виде задачу поддержки принятия решений можно свести к решению трех вопросов:

- где мы находимся – модель «как есть»;
- куда хотим придти – модель «как должно быть»;
- как туда попасть – модель «задачи выработки (принятия) решения».

Во многих продаваемых сейчас программных пакетах систем поддержки принятия решений основной упор делается на решение первого вопроса. Так известную систему Oracle Express OLAP определяют как «инструмент оперативного анализа данных». Сама аббревиатура OLAP расшифровывается как On-Line Analytical Processing.

Развитием OLAP систем анализа данных являются системы Интеллектуального Анализа Данных (Data Mining, ИАД). ИАД обычно определяют как метод поддержки принятия решений, основанный на анализе зависимостей между данными. Процессы ИАД подразделяются на три большие группы: поиск зависимостей (discovery), прогнозирование (predictive modeling) и анализ аномалий (forensic analysis). В этих системах, и в частности, в ИАД применяется чрезвычайно широкий спектр математических, логических и статистических методов: от анализа деревьев решений (Business Objects) до нейронных сетей (Neo Vista).

Функции анализа ситуаций, реализуемые в OLAP и ИАД должны входить в систему поддержки принятия решений, но СППР должны помочь руководителю ответить не только на первый вопрос: «где мы находимся», но и на второй и третий. Поэтому функции СППР должны быть гораздо шире, чем, например, в OLAP и ИАД [3.6].

Длительность и напряженность ведения переговоров приводят к естественному желанию использовать компьютерные системы для поддержки специалиста и руководителя, участвующего в итеративном процессе принятия согласованных групповых решений. Такие системы получили название систем поддержки переговоров (СПП) (английский термин – Negotiation Support Systems) или системы поддержки групповых решений (СПГР) (английский термин – Group Decision Support System). По своей идеологии они достаточно близки к системам поддержки принятия решений (СППР), однако имеют ряд особенностей, связанных с необходимостью добиваться взаимопонимания между членами группы, принимающей решения [3.2]. В дальнейшем будем использовать все три термина.

Многочисленные психологические исследования показывают, что руководители без дополнительной аналитической поддержки используют упрощенные, а иногда и противоречивые решающие правила, с трудом используя даже готовые нестандартные (например, предлагаемые ERP, MES системами) оптимизационные и прогнозные решения как при принятии стратегических, так и тактических решений.

Учитывая это, место системы поддержки принятия решений в системе управления, в том числе и в нефтегазовом производстве, показано на рис. 3.1 [3.6].

Схема системы управления предприятием показана в виде трапеции, состоящей из трех "слоев". Внутри и снаружи трапеции управления циркулируют информационные потоки. Сверху вниз – управляющие воздействия, снизу вверх – информация обратной связи, по горизонтали – обмен информацией между внутренними объектами одного уровня, а также между внутренними и внешними объектами.



Рис. 3.1

В основании трапеции показаны системы сбора, обработки, хранения, передачи и представления информации. Эти системы представляют собой информационную модель предприятия. На верхнем "слое" трапеции управления находятся руководители предприятия, объединенные вместе с объектом управления в определенную организационную структуру управления, принимающие решения и образующие системы принятия решений (СПР).

В среднем "слое" трапеции находится система поддержки принятия решений (СППР). Модели, заложенные в СППР, выполняют

многовариантные расчеты, производят оценки, генерируют варианты возможных решений (как стратегических, так и тактических), оценивают их, прогнозируют последствия решений.

Сегодня работа систем поддержки процесса принятия решений, так или иначе, основана на формализации методов получения исходных и промежуточных оценок, даваемых руководителем, и формировании допустимых вариантов решений (в этом и заключается существенное отличие СППР от традиционных АСУ).

Если же соотносить определенные выше функции СППР с теми основными задачами, которые обычно решаются при управлении реализацией любых производственных процессов (в том числе и в подотраслях нефтегазового производства) автоматизированными ERP и MES системами, то взаимосвязь системы поддержки принятия решений с задачами управления производством представляется так, как показано на рис. 3.2.

Суть схемы, представленной на этом рисунке, состоит в том, что все (или только необходимые) функции (модели), заложенные в СППР используются при решении каждой задачи (функции) управления для достижения намеченных целей.

Перечень задач управления производством, представленный на рис. 3.2. соответствует традиционному разделению функций управления производством по фазам управления (см. раздел 2.1).

3.2. Развитие компьютерных методов мониторинга и анализа его результатов

Отметим, что на рис. 3.2, 3.3 источником данных, на основании которых в конечном счете принимаются решения, являются результаты мониторинга.

Накопление и анализ данных о внешней среде начали проводиться очень давно. Сначала это было накопление данных о природных явлениях и их анализ. Из этих наблюдений постепенно вырастали научные знания и промышленные технологии.

По мере столкновения с враждебными племенами, народами и государствами наблюдение за их вооружением, тактикой боевых действий, политикой, а также анализ этих данных вылились в создание разведывательных организаций, превратившихся в настоящее

время в важную составляющую государственного аппарата, на деятельность которого тратятся весьма значительные средства.



Рис. 3.2

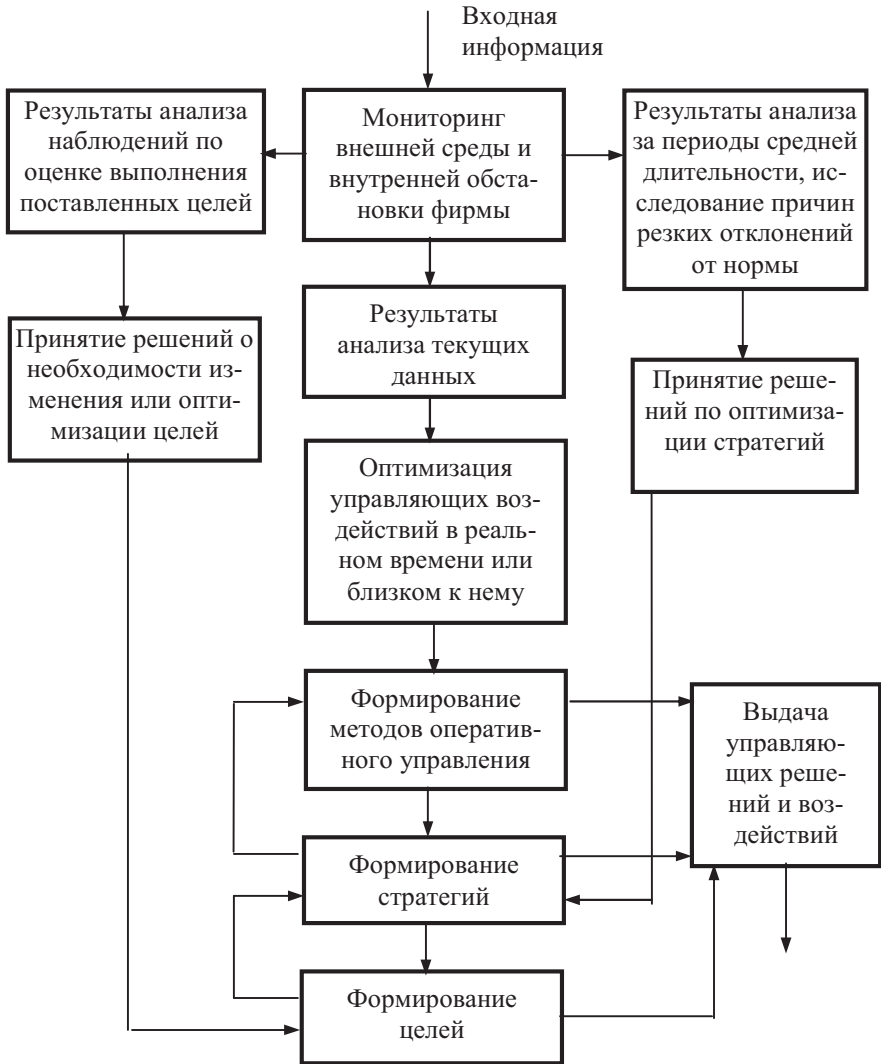


Рис. 3.3

С развитием торговли и возникновением конкуренции торгово-промышленные организации и государства начали добывать данные о применяемых технологиях, организации труда и услуг, политике цен, возможных экономических экспансиях и угрозах, производя их тщательный анализ. Так возникла система промышленного шпионажа, осуществляемая как частными фирмами, так и государственными органами.

Любая организация: военная, государственная, торгово-промышленная, политическая и т.п. стремилась оценить собственное положение по количественным и качественным параметрам. Так возникли статистические, бухгалтерские и другие службы сбора, учета и анализа данных, становившиеся важнейшими инструментами принятия текущих и стратегических решений.

Усложнение задач мониторинга потребовало использования вычислительной техники для его реализации, что позволило:

- резко сократить время сбора данных;
- увеличить объем собираемых данных;
- расширить географию их сбора вплоть до глобальных размеров;
- систематически осуществлять их анализ, резко сократив сроки получения результатов анализа вплоть до реального времени;
- превратить данные мониторинга в основу для принятия оперативных и стратегических решений.

Методы анализа результатов мониторинга сильно зависят от исторического периода их проведения и прикладной области. Они могут базироваться на математическом аппарате анализа данных или реализовать чисто переборные методы. Этим методам и их развитию посвящена огромная литература. Но какими бы они ни были, в них всегда большую роль играют субъективные оценки руководителей и экспертов [3.6].

Помимо традиционных методов мониторинга, определяющих количество и характеристики произведенной продукции, объем продаж, уровень спроса и т.п., компьютерные методы анализа мониторинга позволяют оценить макроэкономические факторы, силы и слабости фирмы, угрозы внешней среды и представляемые фирме возможности, а также характер конкуренции. В литературе предложено довольно много подходов оценки перечисленных факторов. Возмож-

но, наиболее популярными являются методы PEST, SWORT и "пять сил Портера".

Начнем с PEST-анализа [3.8]. PEST - это аббревиатура от терминов Political, Economical, Social, Technological. PEST-анализ концентрирует внимание на анализе внешней макроэкономической обстановке, включающей политические, экономические, социальные и технологические факторы.

Подход, анализирующий как внешние факторы, так и внутреннее состояние фирмы, получил английскую аббревиатуру SWORT (Strengths, Weakness, Opportunities, Threats - силы, слабости, возможности, угрозы) [3.7]. Силы и слабости считаются характеристиками внутреннего состояния фирмы, а возможности и угрозы – внешней среды.

Силы фирмы заключается в ее ресурсах и возможностях, которые могут быть использованы в успешной конкурентной борьбе. К ним относятся: патенты; репутация фирмы среди потребителей; марка фирмы (brand); успехи в ценовой политике за счет использования новых технологий фирмы; эксклюзивный доступ к естественным ресурсам; привилегированный доступ к распределительной сети.

Слабости фирмы могут заключаться в отсутствии определенных условий, например: недостаточная патентная защита; непопулярная марка; плохая репутация среди потребителей; очень дорогостоящая структура фирмы; недостаточный доступ к природным ресурсам; сложности в доступе к ключевым распределительным каналам.

В некоторых случаях сила фирмы может стать оборотной стороной слабости. Так, если фирма обладает большими производственными мощностями, в которые вложены большие средства, то это не позволяет ей проявлять достаточную гибкость при изменении обстановки.

Возможности организации могут заключаться в: неудовлетворенности потребностей клиентов; появлении новых технологий; ослаблении правил регулирования (ограничений в законодательстве); ликвидации международных торговых барьеров и т.п.

Угрозы могут возникать вследствие изменений во внешней среде, например: изменение вкусов потребителей, негативное отношение товаров фирмы; появление замещающих продуктов; изменение в законодательстве; появление торговых барьеров и т.д.

Наконец, третий и последний рассматриваемый подход связан с анализом факторов, влияющих на конкуренцию в промышленности. Этот подход получил название "пять сил Портера" по фамилии его автора (Porter), который считает, что на конкуренцию в промышленности влияют пять факторов (сил - по терминологии англоязычной литературы) [3.9].

1. Характер снабжения: мощный (монопольный) продавец может поднять цены на сырье, комплектующие и т.п., отнимая часть прибыли у производителя.

2. Ограждающие барьеры. Теоретически любая фирма может принять участие в конкуренции на рынке. Практически существуют барьеры, которые ограждают фирмы, получающие высокие доходы от появления конкурентов. В каждой области промышленности могут быть свои средства защиты от конкуренции (ограждающие барьеры). Такие барьеры могут иметь несколько источников:

- барьеры, создаваемые правительствами: таможенные, законодательные (например, запрещающие некоторые виды деятельности иностранным фирмам), государственные субсидирования (например, в сельском хозяйстве) и т.п.;

- патентные права;

- установление специфических ограничений для проникновения в определенные отрасли промышленности (рынка). Если фирма специализировалась в какой-то области промышленности, вложив в нее крупные средства, она будет яростно бороться с появлением даже потенциальных конкурентов.

3. Покупательная способность клиентов. Если покупатель является монополистом (или близок к этому), он устанавливает свои цены на товары. Фактически таких монополистов очень мало, но часто существуют соглашения между производителями (или покупателями).

4. Угроза использования заменителей вместо существующих товаров. Например, использование алюминиевых банок для пепси и пива создает конкуренцию производителям стеклянных и пластиковых банок, но не усиливает конкуренцию в алюминиевой промышленности.

5. Степень (уровень) конкуренции. На степень конкуренции влияет:

- число конкурирующих фирм: чем большее число фирм конкурирует, тем сильнее конкуренция;
- характер роста рынка: чем медленнее растет рынок, тем сильнее конкуренция;
- низкая стоимость переключения: если потребитель может легко переключиться с одного продукта на другой - усиливается борьба за потребителя;
- высокие выходные барьеры усиливают конкуренцию, так как не позволяют фирме изменить область деятельности, заставляя ее работать эффективней. Если производство высоко специализировано, а спрос на продукцию падает, то переключиться на другой вид продукции часто бывает невозможно, и специализация становится выходным барьером;
- многообразие форм конкуренции. Если у них разная история, культура и философия, то состояние промышленности может оказаться неустойчивым, а формы конкуренции – многообразными и легко изменяемыми.

Таким образом, компьютерный анализ результатов мониторинга позволяет оценивать не только традиционные результаты оперативных воздействий (они в этом разделе не рассматриваются), но и стратегические аспекты деятельности фирмы.

3.3. Развитие компьютерных методов оптимизации управленческих решений

А. Необходимость оптимизационных решений

По мере эволюции задач, возникающих перед фирмами и корпорациями, а также роста их сложности, разрабатывались новые методы принятия решений, дающие возможность формировать скоординированные и эффективные реакции фирмы на воздействие внешней среды.

Для принятия решений в условиях быстроменяющейся обстановки фирмы стали использовать методы основанные на:

- мониторинге, то есть фиксации параметров процессов внутри фирмы и той части внешней среды, которая влияет на фирму и его постоянном анализе;

- параллельном анализе и обработке информации, связанной с формированием целей, стратегическими решениями и оперативными воздействиями;

- формировании реакций на изменение обстановки, требующих либо оптимизации управляющих воздействий, либо формирования оптимизированных стратегических решений или даже решения о необходимости смены или оптимизации целей.

Таким образом, для того чтобы противостоять угрозе в среде, характеризуемой быстроменяющейся обстановкой, сложность и быстрота принятия решений в фирме должна соответствовать сложности и скорости изменений, происходящих в среде. Глубина и значимость этих решений должна быть адекватна серьезности изменений, происходящих как во внешней среде, так и внутри фирмы. Это могут быть решения оперативного управления, изменения стратегий и даже смены целей деятельности фирмы. Схема принятия таких решений была показана на рис. 3.3.

Оптимальные методы управления начали развиваться в связи с тем, что при резком возрастании объемов экономики любое отклонение от лучшего варианта решения приводило к очень большим потерям.

Сложность решаемых проблем заставляет крупные компании все шире применять СППР для решения управленческих задач, поскольку без средств вычислительной техники руководители уже не в состоянии обрабатывать огромные массивы информации и принимать решения в заданных временных ограничениях. Иллюстрацией этого утверждения является укрупненная схема финансовых потоков, возникающих в процессе реализации проектов развития нефтетранспортной сети в контуре АК "Транснефть", представленную на рис. 3.4 [3.10] (см. также рис. 2.1).

Для отражения принципиальных взаимосвязей контрагентов в качестве источников финансирования на схеме рассматриваются собственные средства компании, инвестиционный тариф и налоговый кредит.

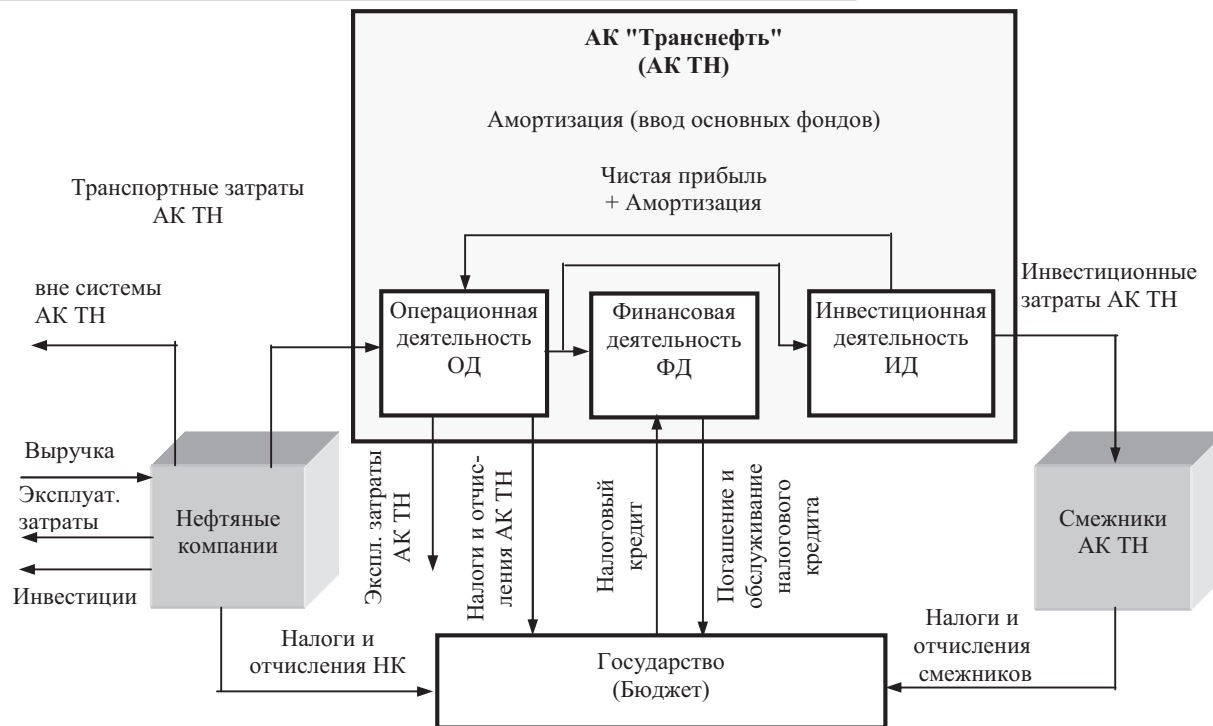


Рис. 3.4

Из рисунка видно, что управленческие решения по реализации инвестиционных проектов развития нефтетранспортной сети прямо или косвенно влияют на:

- объем собственных средств и уровень эксплуатационных затрат АК "Транснефть";
- выручку нефтяных компаний от продаж нефти за счет перераспределения нефти по направлениям поставок;
- уровень затрат нефтяных компаний на транспортировку нефти;
- объем инвестиций на закупки оборудования, проведение строительно-монтажных работ и т.п., что в совокупности оказывает влияние на изменение потока налоговых платежей в бюджеты РФ.

Заметим, что блоки ОД, ФД, ИД, показанные на рис. 3.4, с точки зрения компьютерной системы управления, АК "Транснефть" являются ее подсистемами, а с нефтяными компаниями и смежниками она ведет интенсивный обмен информацией и помогает согласовать совместные решения. Заметим, что представленная на рис. 3.4 схема носит достаточно универсальный (обобщенный) характер и может иллюстрировать (в первом укрупненном приближении) также и работу нефтегазодобывающей компании.

В. Аспекты оптимизации

Оптимизация - это процедура поиска в некотором смысле оптимального решения. Для характеристики качества выбираемого решения вводится критерий качества. Оптимальным является то решение, которому соответствует экстремальное значение критерия.

Для нахождения оптимальных решений создаются аналитические или алгоритмические модели. В науке и технике модели используются очень давно. Хорошо известные законы Архимеда, Ома, Кеплера, гидродинамики и т.п. являются математическими моделями. К таким моделям ученые и инженеры относились и относятся с большим доверием. Однако относиться к моделям в экономике, политике, социологии и т.п. процессам с тем же доверием, как в физике или химии, нельзя. Это объясняется как чрезвычайной сложностью и во многих случаях масштабностью процессов, так и значительной неопределенностью и субъективностью в определении значений коэффициентов, а также формул и алгоритмов этих моделей.

В 30-40^х годах прошлого века теория управления столкнулась с объектами и процессами высокой степени сложности и совершенно непривычными особенностями функционирования. Эти объекты и процессы во многих случаях не удавалось адекватно описать традиционными формальными моделями в виде систем алгебраических, дифференциальных или логических уравнений. Они оказались активными, эволюционирующими во времени и обладали "свободой воли". Более того, цели существования этих объектов и критерии управления ими менялись с течением времени.

Несмотря на указанные сложности, методы моделирования экономических, политических, социальных и т.п. процессов развиваются очень бурно, и, хотя проблема достоверности этих моделей является едва ли не центральной, решения, достаточно близкие к оптимальным, находятся, если не всегда на основе моделей, то с их помощью. Из всей обширнейшей области оптимизации скажем несколько слов только о трех ее аспектах: 1) оптимизация управленческих решений; 2) оптимизация прогнозирования и 3) оптимизация процесса согласования групповых решений.

1. Для оптимизации управленческих решений строится модель управляемого процесса. Модель может быть аналитическая, алгоритмическая, с использованием нечетких множеств и т.д.

В 50^х годах прошлого века была принята так называемая «жесткая» парадигма (концепция) системного анализа, которая исходила из необходимости выбора из множества вариантов оптимальной по заданному критерию альтернативы. Математическая модель должна была обеспечить нахождение оптимума, т.е. точки экстремума. Эти модели широко используются в ERP и MES автоматизированных системах.

Однако в реальных системах при выборе вариантов необходимо учитывать не один, а несколько критериев. Поэтому начала появляться и довольно быстро завоевала признание "мягкая" парадигма, основная идея которой заключалась в компромиссе между различными критериями, в нахождении решений, которые в какой-то мере удовлетворяли бы всем (или части) выдвинутых критериев и, значит, полностью не удовлетворяли ни одному из них. Соответственно расширился и математический аппарат оптимизации – появились методы многокритериальной оптимизации, нечеткие множества и, что

очень важно, наряду с объективными данными в математических методах стали использоваться субъективные оценки.

В настоящее время предложено много подходов многокритериальной оценки решений [3.3, 3.11, 3.12, 3.13]. В большинстве случаев они сводятся к линейным или нелинейным сверткам, позволяющим поставить каждому варианту решения оценивающее его число. Однако существуют и другие подходы. Например, широко известный и применяемый принцип Парето.

Теперь о субъективных оценках. Субъективная оценка оказалась в настоящее время единственно возможной основой объединения разнородных физических параметров решаемой задачи, которая превращает ее в единую модель, позволяющую оценивать варианты решений [3.12]. В этой субъективности нет ничего плохого. Опытные руководители, конструкторы, другие специалисты хорошо знают, сколько личного и субъективного они внесли в принимаемые решения. В то же время об успехах и неудачах многих решений человек может судить, исходя только из своих субъективных представлений.

2. Задача прогноза или построения предиктора (от английского *predict* – предсказывать) – одна из самых древних задач прикладной математики. Ее решали еще египетские жрецы с целью предсказать солнечные затмения. Дальнейшее изучение и применение предикторов показали, что в одних случаях они дают достаточно достоверные прогнозы, а в других начинают грубо ошибаться. Было установлено, что многие трудности, связанные с построением предикторов, являются не техническими, а принципиальными.

В ряде случаев (их природа здесь не рассматривается) как бы ни была мала ошибка, принципиально нельзя предсказать, что произойдет с системой через наперед заданное время T . Поэтому для таких систем приходится говорить о горизонтах прогноза.

Результаты исследований показали, что в тех случаях, когда существуют проекции на подпространства меньшего числа переменных, которые адекватно отражают происходящее во всем большом пространстве состояний системы (эти подпространства в литературе часто называют руслами), можно строить достаточно простые предикторы. То есть там, где существуют русла, сложные системы удается описывать относительно просто, и тут предикторы работают достаточно хорошо.

Но реальность может быть устроена более сложно. Русло может кончиться, и число переменных, определяющих ход процесса, будет быстро расти. Горизонт прогноза уменьшается, и ошибка предсказания может резко увеличиться, т.е. процесс входит в новое для себя состояние.

Такие состояния в фазовом пространстве называются областями джокеров, а сами правила, по которым начинают себя вести системы, – правилами джокеров. Название связано с игровой картой – джокером, которая в зависимости от желания играющего, может быть назначена любой другой картой. Джокер может быть связан с точкой бифуркации, когда малые флуктуации или случайный шум в большинстве случаев сильно влияет на ход процесса.

Джокеры чрезвычайно важны при анализе экономических, политических, социальных и т.п. процессов. В этих процессах огромное влияние приобретают случайности, игровые моменты. При этом в критических ситуациях факторами, значительно влияющими на развитие событий, оказываются такие плохо поддающиеся формализации характеристики, как мораль, убеждения, нравственность, предшествующий опыт. В ряде случаев эти параметры меняются скачками.

Оптимизация нахождения границ русел и начал области джокеров имеет громадное значение. Тот, кто первый осознал, что система находится в области джокера, что существенны стали совсем другие переменные, получает большие преимущества по сравнению с теми, кто еще думает, что "все идет по-прежнему".

Выделение структуры русла-джокера в фазовом пространстве тесно связано с формированием сценариев действий. Именно в областях джокеров часто принимаются решения, меняющие стратегии и даже цели.

3. Согласование управленческих решений - это потенциально противоречивый переговорный процесс, в ходе которого договаривающиеся стороны, возможно конфликтующие, стараются выработать совместное решение для получения результата, которого они не могут достичь другим путем [3.2].

Переговоры – тяжелая работа. Методам проведения переговоров посвящено очень большое число работ. Множество возникающих в ходе переговоров вариантов может подавить участников и заставить

их исходить из чисто эвристических или эмоциональных предпосылок, а не из вариантов решений, обоснованных расчетами. Часто участники переговоров не могут достичь соглашения, хотя хорошее решение существует. Это бывает особенно часто в тех случаях, когда в ходе переговоров возникает новая ситуация или участники не имеют достаточно времени для основательной подготовки к переговорам.

Специалисты по теории игр, математики, экономисты, системные аналитики уже давно бьются над разработкой эффективных методов проведения переговоров, которые помогли бы их участникам найти справедливые и удовлетворяющие всех решения.

Важным для участников переговоров является модель и основанная на ней оптимизация процесса переговоров, определяемая характером выигрыша. Обычно рассматриваются следующие модели:

- распределительная (ее также называют соревновательной или с нулевой суммы). В моделях этого класса одна сторона может выиграть только за счет проигрыша другой. Такая модель связана с фиксированным ресурсом, оптимальный раздел которого и является целью переговоров;

- интеграционная (ее также называют дружественной или типа выигрыш - выигрыш). В моделях этого класса величина ресурса переменная, и задача переговоров - оптимизация суммарного выигрыша. Такая модель возможна, например, при слиянии двух фирм;

- интеграционно-распределительная включает элементы обеих вышеперечисленных моделей. Примером моделей этого класса являются отношения постоянных поставщиков и получателей одного ресурса (скажем, транспортных средств). Каждая сторона хочет получить оптимальную прибыль за счет другого, но при этом стремится и к оптимальному удовлетворению партнера.

Согласование решений требуется не только при переговорах между представителями различных организаций, что, естественно, связано с нахождением компромисса в рамках рассмотренных моделей, но и при выработке согласованных решений внутри организации.

В формировании решений обычно принимают участие сотрудники различных уровней, выполняющие различные функции, в том числе, и не управленческие. В частности, между руководителями фирмы и научно-техническими специалистами может возникнуть опасный разрыв по нескольким причинам.

1. *Информационный разрыв.* Он возникает из-за того, что носителями важнейших, как правило, трудно формализуемых знаний о перспективах, рисках, последствиях и возможной стоимости новых технологий являются исследователи и разработчики, изолированные от высшего руководства несколькими ступенями управленцев, в результате они говорят на разных профессиональных языках.

2. *Семантический разрыв.* Он возникает из-за различий в научно-техническом языке, концепциях и понимании факторов успеха общего руководства и специалистов.

3. *Разрыв цели - затраты.* Целью общего руководства фирмы является получение оптимального дохода на расходуемые ресурсы. Технология является только одним из средств этой цели, а не самоцелью. Для профессионального исследователя и разработчика целью может быть моральное удовлетворение от использования предложенной им технологии или денежное вознаграждение за него.

Для ликвидации возможности такого разрыва необходима формализация процедуры принятия решений.

Все сказанное выше имело целью показать, что существующая и все возрастающая сложность требований рынка, задач производства, систем управления, организации мониторинга, анализа его результатов и формирования управленческих решений оперативного, стратегического управления и формирования целей требуют для своей реализации новых технических, программных и интеллектуальных средств компьютерной поддержки. Такими средствами являются компьютерных технологий.

3.4. Компьютерная технология долгосрочного и стратегического планирования

Ключевые вопросы, связанные с разработкой долгосрочных планов предприятий нефтегазовой отрасли, прежде всего, определяются тем, что практически все проекты в нефтегазовой отрасли являются инвестиционными и имеют преимущественно долгосрочный характер и ориентированы на решение стратегических задач, стоящих перед предприятием.

Главное различие между долгосрочным и стратегическим планированием состоит в трактовке будущего. В системе долгосрочного

планирования (рис. 3.5-а) предполагается, что будущее может быть предсказано путем экстраполяции исторически сложившихся тенденций роста. В системе стратегического планирования (рис. 3.5-б) отсутствует предположение о том, что будущее должно быть непременно лучше прошлого, и не считается, что будущее можно изучить методом экстраполяции. Поэтому его средством является анализ перспектив (тенденций) организации, исследование позиций в конкурентной борьбе и выбор стратегий, в том числе, определение приоритетов и распределение ресурсов для обеспечения реализуемых стратегий. Различия между процедурами долгосрочного и стратегического планирования показаны на рис. 3.5 [3.7].

Процесс стратегического планирования складывается из прямой и обратной процедур планирования, которые с помощью СППР интегрируются в единую компьютерную интерактивную процедуру.

Различают два типа сценариев – исследовательский и предваряющий. Первый следует от настоящего к будущему, в то время как второй проходит обратный путь, который начинается от будущего состояния и продвигается назад к настоящему, чтобы определить последовательность действий, приводящих к поставленной цели. Каждый из сценариев при необходимости можно повторить с внесением необходимых дополнений и изменений. Для этой цели могут использоваться различные компьютерные методы и модели СППР, в том числе модели четкой и нечеткой оптимизации, марковские модели принятия решений и др., ряд из которых для нефтегазовой отрасли рассмотрен в [3.6, 3.7].

В свою очередь предваряющие сценарии можно подразделить на нормативные, контрастные и обобщенные. В нормативном сценарии сначала определяются некоторое множество целей, которые должны быть достигнуты, а затем путь их реализации. Контрастный сценарий характеризуется как желаемым, так и достижимым будущим. Главное качество контрастного сценария состоит в том, что в нем удается выделить утверждения, в которых содержатся предположения о достижимости. Сочетание нормативного и контрастного сценария формирует обобщенный сценарий, который, в основном, сохраняет свойства каждого из них. Интеграция прямой и обратной процедур представлена на рис. 3.6.

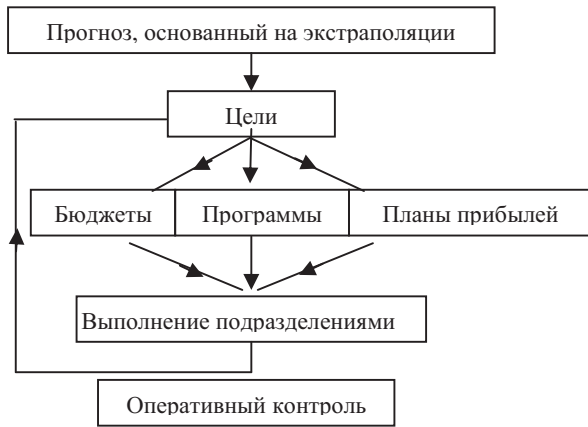


Рис. 3.5-а

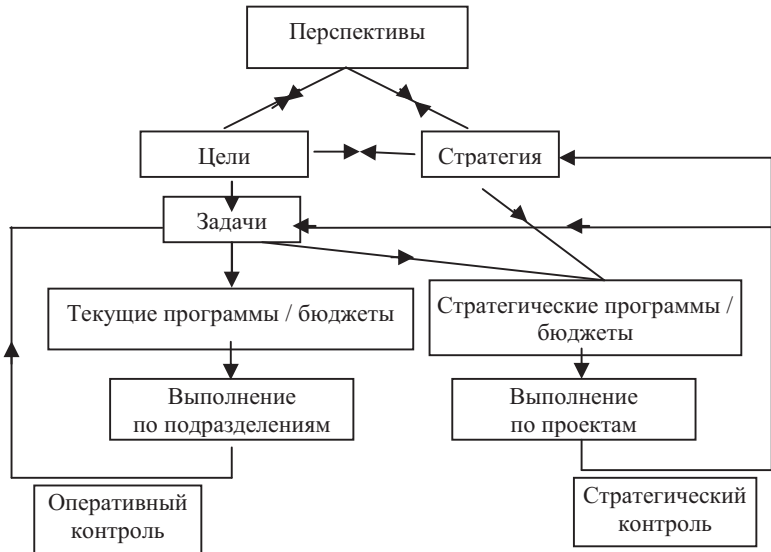


Рис. 3.5-б

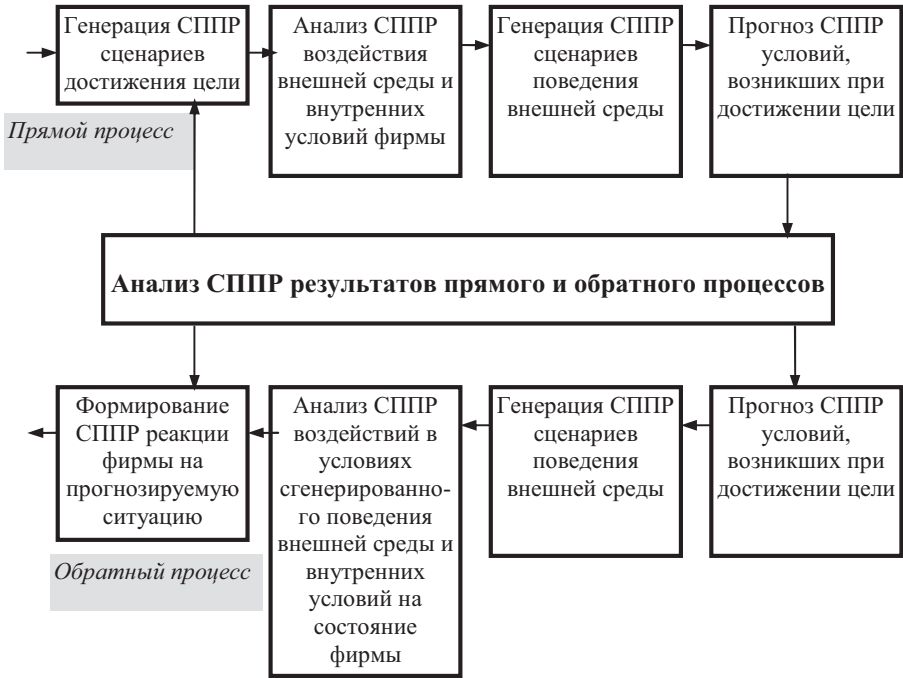


Рис. 3.6

Следует отметить, что эти два процесса производят противоположный эффект с точки зрения количества возможных исходов и вариантов использования средств, необходимых для их достижения. Проектируемый процесс начинается с малого числа вариантов использования средств и производит множество возможных исходов. Желаемый процесс начинается с малого числа исходов и производит множество вариантов использования средств. Отсюда возникает двухточечная граничная задача: как согласовать в одно интегрированное решение множество вариантов, порожденных раздельным определением каждой проблемы? Средством достижения этого является модели, заложенные в СППР для оценки вариантов решений,

(например, методом анализа иерархий, Парето оптимальность, многокритериальные функции предпочтения, принцип Беллмана-Заде и др. [3.6, 3.7, 3.11]), которые применяются на итерациях прямого и обратного процессов планирования.

Изложенные методологические подходы к процессу стратегического планирования как последовательности определенных процедур в принципе могут применяться в любой отрасли промышленности, включая нефтяную и газовую.

Однако, эти последние отрасли имеют ряд существенных отличий, обусловленных как спецификой самого нефтегазового производства (см. выше), так и особенностями функционирования рынка этих энергоносителей, которые необходимо учитывать.

Необходимо также отметить, что в настоящее время в нефтегазовом комплексе РФ сформирован ряд вертикально интегрированных нефтегазовых компаний. В частности, создан такие нефтяные холдинги как: «ЛУКОЙЛ», «Сургутнефтегаз», «Роснефть», «Татнефть», «Газпром» и др. Возможности экономического роста этих и других предприятий нефтяной промышленности, а также предприятий ОАО «Газпром» в значительной степени зависят от выработки эффективных целей и стратегий, обеспечивающих конкурентоспособность на рынке энергоресурсов, и, как следствие, высокий уровень рентабельности производства. Стабильный экономический рост отдельных предприятий нефтегазового комплекса (как одна из возможных стратегических целей) возможен при комплексном учете всех действующих рыночных факторов в процессе формирования различных стратегических альтернатив (сценариев развития). К таким факторам, в первую очередь, следует отнести: возможности технико-технологического совершенствования производства (использование нововведений), совершенствования системы управления, расширения рынка, роста уровня доходности и др.

Одним из главных вопросов стратегического планирования, обеспечивающим решение стратегических проблем, с которого вообще начинается процесс планирования, является вопрос выбора его целей и задач (стратегий реализации целей) с необходимой для практической реализации детализацией. Его характерной чертой является возможность динамичного изменения стратегий и даже целей, вызванных изменением обстановки.

Особенность принятия решений в таких системах состоит в том, что принятие решений в организации (например, вертикально-интегрированной компании и ее подразделениях) с иерархической структурой можно представить в виде графа, уровни которого определяют иерархию организации. Такой граф, обычно древовидный, часто называют деревом решений. В каждом узле (звене) управления дерева решений, вырабатываются решения соответствующего уровня иерархии.

В общем случае построение деревьев целей и решений, являясь одним из методов генерации вариантов решений в системах поддержки принятия решений [3.6], является сложной, самостоятельной и не всегда хорошо формализуемой проблемой принятия решений. Традиционно методы построения деревьев целей и решений, как правило, основаны на разработке и применении экспертных процедур или систем. При этом разработка дерева целей является первым этапом логического анализа руководителя, а на втором этапе – в построенном дереве целей каждой из финальных задач ставят в соответствие известный из практики или специально разрабатываемый способ решения и дерево необходимых ресурсов. В результате получают дерево решений.

Так, например, на рис. 3.7 показано очень простое дерево решений службы технического обслуживания группы агрегатов, генерируемое СППР [3.6]. В вершине D_{1l} (руководство службы) на основе данных мониторинга вырабатывается вариант решения, определяющий содержание и объем ремонтных работ, на втором уровне – в вершинах $D_{21} \dots D_{2n}$ (в отделах службы) определяется цикличность проверок каждого агрегата в зависимости от его типа, нагрузки, условий работы и т.д. Эта информация хранится в базе данных СППР. На третьем уровне (ремонтных постах) – в вершинах $D_{31} \dots D_{3j}$ СППР предлагает вариант решения на обновление деталей и механизмов в каждом устройстве в соответствии с их износом, поломками и имеющимися ресурсами.

Обычно деревья целей и решений подразумевают использование упомянутой выше иерархической структуры, полученной путем разделения общей цели на подцели, а их в свою очередь – на более детальные составляющие (новые подцели, функции и т.д.). Как правило, этот подход используется для структур, имеющих отношение

строого порядка, но метод дерева целей используется иногда и применительно к «слабым» иерархиям, в которых одна и та же вершина нижележащего уровня может быть одновременно подчинена двум или нескольким вершинам вышележащего уровня.

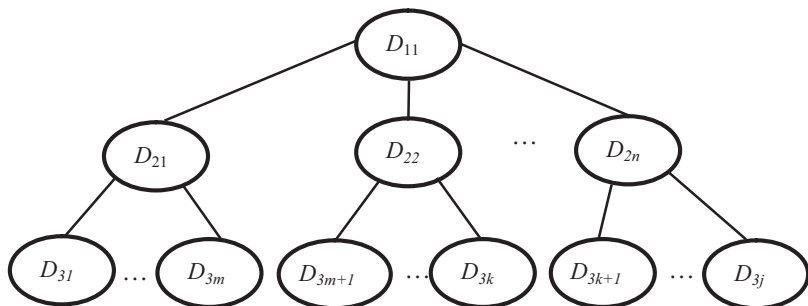


Рис. 3.7

Одной из наиболее известных и достаточно давно используемой разновидностью метода дерева целей является метод PATTERN (Planing Assistance Trough Technical Evaluation of Relevance Numbers – помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки), разработанный в шестидесятых годах двадцатого века для повышения эффективности процессов принятия решений в области долгосрочной научно-технической ориентации крупной промышленной фирмы. Этот метод реализуется, например, пакетом программ SUPERTREE [3.6].

Деревья целей и решений можно представить (сформировать) на любом иерархическом уровне управления нефтегазового производства: производственное объединение, завод, цех, бригада; государственно-административной: федерация, область, район, населенный пункт и т. д. Такие деревья целей и решений могут строиться не только в соответствии с иерархией задач управления на предприятии, компании, акционерном обществе и др., но и в сочетании с другими признаками. Применительно к нефтегазовому производству, эти деревья сегодня строятся одновременно и по подотраслевому (технологическому, функциональному), например, добыча – транспорт – переработка нефти и газа и административному (территориальному)

признакам. В частности, таким образом, строится управление (принятие решений) в вертикально-интегрированных нефтегазовых компаниях, акционерных обществах и финансово-промышленных группах, многоуровневых холдингах.

Управление такими сложными организационными структурами базируется на двух принципах:

1) дивизиональной схеме организации компаний, отвечающих за отдельные секторы деятельности (разведку и добычу нефти и газа, транспорт и быт, нефтегазопереработку, нефтехимию и другие направления бизнеса);

2) региональном принципе деятельности, когда компании ориентированы на крупномасштабные региональные рынки (континенты, страны или отдельные регионы).

При этом как конкретные цели (а также деревья целей), так и стратегии их реализации, вырабатываемые руководителями, определяются соответствующими иерархическими уровнями и звеньями управления компании – от простых функциональных структур управления до самых сложных.

3.5. Формирование множественных сложных целей

Повседневная напряженная управленческая деятельность, принятие множества иногда достаточно сложных решений в быстротекущей обстановке иногда приводит руководителей к потере видения своей конечной (стратегической) цели. Поэтому своевременная выработка (или корректировка) такой цели и методов (стратегий, оперативных воздействий) ее реализации является одним из основных условий успешной деятельности организации.

Кроме того, часто цели не могут быть содержательно точно определены, то есть имеет место неопределенность цели. В таких случаях переходят к другим целям, которые только частично соответствуют первоначальным, но могут быть достаточно точно и четко определены. Такие цели называют частными целями. Необходимо отметить, что использование частных целей связано с опасностью подмены ими «реальных» целей и тем, что частные цели могут противоречить друг другу. Например, можно предположить, что целью государственной экономической политики является увеличение общест-

венного благосостояния. Однако понятие общественного благосостояния довольно неопределенно и расплывчато, поэтому в данном случае качестве «частных» целей, например, могут использоваться: рост национального дохода, изменение распределения доходов и др.

При реализации инвестиционных проектов в нефтяной и газовой промышленности частными целями могут быть: обеспечение потребностей народного хозяйства в нефти и газе в краткосрочном периоде, устойчивое обеспечение потребностей страны в нефти и газе в долгосрочном периоде, обеспечение валютных поступлений от экспорта нефти и газа, привлечение иностранных инвестиций для развития нефтегазовой промышленности и др.

Приведенные частные цели могут быть измерены количественно и предложены СППР руководителю, хотя выбор тех или иных частных целей и критериев их достижения по указанным выше причинам должен сопровождаться тщательным их анализом.

Как частные, так и главные цели, об этом уже упоминалось, формулируются как некоторый идеальный результат, который необходимо достигнуть. Цели могут быть: экономические, финансовые, коммерческие, политические, социальные, экологические, технологические и т.д.

Формулировка цели должна обеспечивать:

- рамки для принимаемых текущих решений, направляя их в русло конечной цели;
- основу для текущего планирования;
- объяснение проводимой деловой политики другим участникам бизнеса;
- нахождение контрольных точек и мониторинг бизнес-процесса;
- стимулирование изменений деловой политики и формулировку текущих планов.

Изложенное означает, что правильно сформулированная цель должна подчиняться следующим двум условиям:

1) она должна быть ориентирована на конечный результат, а не быть лозунгом или декларацией. Например, цель – обеспечение долговечности долота для бурения скважины определяется не его частными характеристиками (диаметр, давление на забое, и др.), а коли-

чеством скважин, которое можно пробурить этим долотом в твердых породах на большой глубине без замены;

2) цель должна иметь норму. Если имеется аналог решаемой проблемы, то это лучший мировой образец, если такого аналога найти не удастся или его просто нет – решается принципиально новая проблема, в этом случае нормой цели является научно-технический прогноз.

Существуют различные методы формулировки целей:

- четкая формулировка общей цели, желательно не допускающая различных толкований;
- перечисление критериев, по которым будут оценены результаты принятого совместного решения, и их показатели (желательно количественные);
- описание выполняемых функций;
- ограничения, которые должны быть учтены при выработке совместного решения;
- интерфейсы, которые будут созданы для взаимодействия с окружающей средой и/или отдельными подсистемами и т.д.

Уже отмечалась фундаментальная важность правильной формулировки выбора выбора цели и стратегий ее реализации. Так, например, цель, поставленная авиаконструктором Ильюшиным, – создать бронированный боевой самолет, «летающий танк», привела его к созданию знаменитого во вторую мировую войну штурмовика «ИЛ», самого серийного (это официальный термин) самолета Великой Отечественной Войны. Самолетов этого типа было произведено больше, чем боевых машин любого другого назначения, что само по себе говорит о чрезвычайной боевой эффективности штурмовика, прозванного врагами «черной смертью».

Однако неправильно сформулированная цель может привести и часто приводит к очень большим потерям.

Так, например, известный принцип (цель) добычи нефти принятый директивными органами СССР [3.14]: «максимум добычи – минимум затрат», который «рекомендовалось» реализовывать с помощью следующих стратегий: независимость нефтеотдачи от плотности сетки скважин (минимизация фонда скважин); добыча основных запасов в безводный период; добыча основных запасов наиболее дешевым фонтанным способом; минимизация затрат на создание и раз-

витие социальной сферы на осваиваемых месторождениях привел к тому, что «минимизация» затрат в социальную сферу привела к тому, что в Нижневартовске, Сургуте и других нефтяных городах и поселках было построено 200 тысяч «балков», проживание в которых для семей нефтяников было сущим адом, а попасть в кинотеатр, например, в Нижневартовске в 70-80-х годах можно было, только записавшись в очередь за несколько месяцев.

Для выравнивания экономических условий на высоких и низкопродуктивных участках месторождений для той же «минимизации» затрат предлагалось именно на последних бурить более редкие сетки скважин (минимизировать фонд скважин), поскольку предполагалось, что в этом случае затраты на 1 т продукции на участках с различной продуктивностью будут невысокими.

В жизни пришлось поступать ровно наоборот, так как это приводило к огромным недоизвлечениям нефти из месторождений, а также к тому, что при не оправдано редкой сетке скважин нельзя познать всех особенностей строения пласта, связанных с его неоднородностью. Это особенно важно в современных условиях, когда трудноизвлекаемые запасы составляют более 60% общих запасов, состоящих на балансе. В итоге, на практике, бурился резервный фонд скважин, находилось оптимальное с учетом строения пласта размещение скважин, что, естественно, требовало проведения значительных дополнительных исследований, усилий и затрат.

Фонтанный способ эксплуатации скважин, давая на короткое время большие объемы добытой нефти, в длительной перспективе, приводил к тому, что в земле оставались большие неизвлекаемые запасы нефти, в ряде случаев до 60%.

Как уже говорилось выше, формирование цели является частью более общей задачи - стратегического планирования. Стратегический план – это еще не бизнес-план. Первый является очень сжатым наброском, в то время как второй – обычно подробно и детально разработанный документ. Стратегический план должен быть основой и рамкой бизнес-плана. Поэтому место и роль целей и стратегий в процессе формирования и реализации управленческих решений можно представить в виде на рис. 3.8.

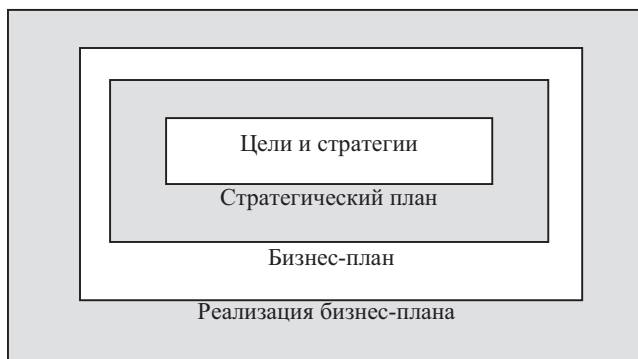


Рис. 3.8

Вернемся к формированию целей. Диапазон возможных целей чрезвычайно широк. Это хорошо видно из примера исследования характера цели, которую преследуют фирмы Саудовской Аравии. Фирмам, работающим в областях: нефтехимии, упаковки, питания и электронной промышленности было разослано 159 анкет. В табл. 3.1 [3.15] показаны в процентах наиболее часто указанные цели по опросам 74 фирм в четырех промышленных группах. В скобках показана важность (ранг) каждой цели среди других.

Из табл. 3.1 видно, что в различных отраслях промышленности по-разному оценивают различные цели, хотя формально цели легко проранжировать (это сделано в табл. 3.1, ранг показан в скобках), но фактически различие в несколько процентов, полученных в результате опроса при небольшой выборке нельзя считать значимым. Поэтому во многих случаях, может быть, более правильным было бы говорить о группе одинаково значимых целей. Наконец, оценки, данные при опросах, часто бывают большей частью интуитивные, эмоциональные, а не основанные на достаточно глубоком анализе. Кроме того, в различных отраслях промышленности и знаний как цели, так и их значимость может быть различной.

Один из выводов при анализе табл. 3.1 – не всегда сразу можно и даже необходимо строить дерево целей. Поэтому во многих случаях целесообразно в начале выделить цели, относящиеся к одному уров-

ню дерева целей, для возможно полного уяснения обстановки и обеспечения выбора возможных стратегий реализации целей сформировать «пласты важности целей». Эти «пласты» могут стать основой построения дерева целей с помощью СППР.

Таблица 3.1

Наименование целей	Нефтехимия (39 фирм)	Упаковка (8фирм)	Электричество и электроника (18 фирм)	Продовольствие (9 фирм)
Прибыль	82% (3)	87,5% (2)	78% (1)	78% (2)
Рост объемов производства	85% (20)	100% (1)	45% (4)	83% (1)
Маркетинг	87,2% (1)	37,5 (7)	67% (2)	72% (3)
Социальная ответственность	72% (4)	75% (4)	56% (3)	67% (4)
Разработка и исследования	69% (5)	62,5% (5)	33% (5)	39% (7)
Качество продукции и услуг	50% (9)	50% (6)	67% (2)	61% (5)
Забота о персонале	64% (6)	87% (3)	67% (2)	67% (4)
Эффективность и инновации	61,5% (7)	75% (4)	33% (5)	33% (8)
Сохранение ресурсов	56,4% (8)	37.5 (7)	33,3% (5)	56% (6)

Так для рассматриваемого примера (таблица 3.1) для группы фирм, занимающихся нефтехимией, предполагая, что ошибка оценки равна примерно 5% можно построить следующие пласты:

1. маркетинг, рост, прибыль;
2. социальная ответственность, разработка и исследования;
3. забота о персонале, эффективность и инновация;
4. сохранение ресурсов;
5. качество продукции и услуг.

Эти «пласты» показывают, что входящие в них цели имеют примерно равное значение для руководителей или экспертов. У фирм разных направлений «пласты» разительно отличаются друг от друга. В зависимости от выбора «порога близости» (3%, 5%, 8%) будут по-

лучаться разные пласты. Компьютерная система должна представить в удобном для восприятия виде варианты этих «пластов».

Другой пример, пласты (уровни) целей в процессах бурения, разворачиваемые от глобальной цели к подцелям, могут быть представлены следующим образом.

Первым слоем дерева целей является повышение добычи нефти и ее разведанных запасов с помощью бурения до уровня ее потребностей в ближайшей перспективе. Но само бурение непосредственно не добывает нефть, следовательно, нужно сформулировать цели следующего более низкого уровня, являющиеся средствами для достижения целей этого уровня, чтобы они были очень тесно связаны.

Целями второго уровня дерева целей могут быть: число ежегодно заканчиваемых эксплуатационных скважин; число заканчиваемых разведочных скважин (обе эти цели прямо пропорциональны текущей и перспективной добыче нефти).

Целями третьего уровня дерева целей являются:

- устранение загрязнения пласта фильтратом;
- применение наиболее перспективных способов бурения (например, роторного, турбинного, электробурения, равновесного);
- улучшение качества бурильных труб;
- рост оплаты труда буровиков.

3.6. Формирование стратегий

Выше уже отмечалось, что стратегия - это долгосрочное направление области развития организации, средств и форм ее деятельности для достижения поставленной цели. Процесс выработки стратегии не завершается каким-либо немедленным действием. Обычно он заканчивается установлением общих направлений, продвижение по которым обеспечит рост и укрепление позиций фирмы.

Успешность выполнения цели в значительной степени зависит от правильности выбора стратегии ее реализации. Связь между целью (или целями) и реализующими их стратегиями покажем на примере американского плана Comprehensive National Energy Strategy [3.16]. В документе указано пять целей и стратегий их достижения.

Остановимся на первых двух.

Цель А. Повышение эффективности энергетических систем.

Стратегии:

1. улучшение законодательства по реструктуризации электроэнергетики;
2. развитие передовых средств добычи угля и газа;
3. совершенствование существующих атомных станций;
4. создание более эффективных промышленных и строительных технологий, а также технологий транспортировки товаров;
5. повышение эффективности Федерального использования энергии за счет использования новых и усовершенствования существующих технологий.

Цель В. Защита экономики от внешних угроз срыва поставок или отказа инфраструктуры.

Стратегии:

1. стабилизация отечественного производства;
2. поддержание уровня стратегических резервов нефти;
3. диверсификация импортных источников нефти;
4. сокращение потребления;
5. повышение надежности, гибкости и толерантности энергосистемы к чрезвычайным ситуациям.

Роль стратегии состоит в том, чтобы, во-первых, помочь сосредоточить внимание на определенных последовательностях действий (сценариях), условиях и возможностях; во-вторых, отбросить все сценарии, несовместимые с выбранной стратегией. Необходимость в реализуемой стратегии может отпасть, как только реальный ход развития выведет организацию на желательные результаты. Выработке стратегий, их реализации и смене в современных системах управления уделяется все большее внимание.

Стратегия корпорации может формулироваться на трех уровнях:

- корпоративном (стратегию разрабатывает руководство корпорации);
- филиала фирмы, дочернего предприятия;
- функциональном или департаментском.

В то время как стратегия может определять конкурентность и выживание фирмы в целом, можно говорить и о стратегии производства отдельных товаров и услуг или товаров и услуг, производимых той или иной организационной единицы. Роль корпорации в этих

последних случаях – руководство и координация, обеспечивающая вклад производимых товаров и услуг в стратегию корпорации.

Корпоративная стратегия включает:

- область интересов (деятельности) корпорации, то есть типы бизнеса (деятельности), в которые может быть вовлечена корпорация, а также характер интеграции отдельных видов деятельности в стратегию корпорации и методы управления ими;
- контакты конкуренции, определяющие локализацию конкуренции корпорации. Так конкуренция на рынке страхования для корпораций Textron возникла в 1997 году на уровне дочернего предприятия после того, как она начала финансировать фирму Paul Revere Corporation, занимавшуюся этой деятельностью;
- управление деятельностью и деловым взаимодействием реализуется в синергетической стратегии разделения ресурсов между предприятиями корпораций и их инвестированием;
- практику менеджмента – выбор степени централизации управления.

Примером такого разделения стратегий внутри корпорации может являться известная корпорация Textron, осуществляющая свои стратегии в несвязанных областях экономики:

- авиастроении (32% дохода);
- автомобилестроении (25% дохода);
- промышленности (39% дохода);
- финансовой (4% дохода).

У фирмы Textron нет какого-либо одного конкурента, но есть конкуренты в каждой из перечисленных областях.

Стратегия предприятия (организационной единицы) заключается в:

- определении мер противодействия конкурентам;
- предвидении изменений в требованиях, технологиях и выборе стратегий для их удовлетворения;
- влиянии на характер конкуренции путем стратегических решений (например, организации вертикальной интеграции) и политических действий (например, лоббировании).

Функциональная или департаментская стратегии реализует:

- эффективность в маркетинговой и финансовой политике, использовании персонала, научно-исследовательских разработках и т.д.;
- стратегии корпорации и предприятия, транслированные в правила и планы департамента в своей области деятельности.

Анализируя различные применяемые (не только в нефтегазовом бизнесе) стратегии, в дополнение к уже ранее рассмотренным, в табл. 3.2 [3.17] дан список стратегий, которые считаются типичными в бизнесе и мотивации применения каждой стратегии.

Поскольку дать общую рекомендацию по выбору цели и реализующих их стратегий для всех случаев жизни невозможно, попробуем «пофилософствовать» на эту тему, чтобы показать трудности выбора принципа, по которому может выбираться цель. Предметом такого «философствования» выберем два известных принципа или, если хотите, две цели, рассматриваемые в теории благосостояния [3.17].

Первый принцип (цель) – стремление уравнивать индивидуальные полезности. Этот принцип называется эгалитаризмом (уравновани-ем). Второй принцип – максимизация суммы индивидуальных полезностей. Этот принцип называется утилитаризмом.

Ясно, что функция полезности каждого участника переговоров будет зависеть от того, какого принципа он придерживается и, собственно, какую цель себе ставит. Надо отметить, что в каждом из этих, казалось бы, простых принципах кроется свой «дьявол в деталях».

Поясним это на примере страхования здоровья пациентов, застрахованных на одинаковых условиях. Пусть объявлена цель – обеспечение по возможности равного уровня здоровья всех пациентов. Это может привести к тому, что все пациенты кроме одного из-за отсутствия средств должны постоянно отказываться от аспирина и антибиотиков для того, чтобы страховая компания могла платить за дорогостоящее оборудование, которое может продлить жизнь одного единственного тяжелобольного пациента.

У утилитаризма тоже есть свои парадоксы. Его основное положение заключается в том, чтобы считать полностью сравнимыми (и при равенстве эквивалентными) приращения полезностей различных участников совместной деятельности.

Таблица 3.2

№ п/п	Наименование Стратегии	Мотивация применения стратегии
1	Освобождение от одного или нескольких видов деятельности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Концентрация на оставшихся видах 2. Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности 3. Сокращение расходов 4. Перераспределение средств
2	Занятие одним или несколькими новыми видами деятельности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Следование политики конкурентов 2. Потеря конкурентоспособности на занимаемом сегменте рынка 3. Стремление к захвату новых сегментов рынка 4. Диверсификация деятельности 5. Диверсификация расходов
3	Усиление специализации в успешных видах деятельности	1. Концентрация сил и средств на относительно узком виде деятельности
4	Приобретение фирм, действующих в других областях экономики или рынка	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диверсификация производства 2. Диверсификация рисков 3. Поиск новых рынков
5	Приобретение фирм-поставщиков и/или фирм-посредников	<ol style="list-style-type: none"> 1. Завоевание монопольного положения у конечных потребителей 2. Снижение стоимости продукции
6	Освоение новых технологий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение качества продукции 2. Освоение новых областей деятельности
7	Применение освоенных или разработанных технологий в новых областях экономики	<ol style="list-style-type: none"> 1. Борьба с конкурентами 2. Завоевание новых секторов рынка 3. Выпуск продукции более дешевой и/или качественной, чем у конкурентов
8	Приобретение фирм, обладающих новыми для приобретающей компании знаниями и умением (технологиями)	1. Использование приобретенных знаний и технологий в традиционных отраслях экономики
9	Приобретение фирм, занимающихся теми же видами деятельности, что и приобретающая их компания	<ol style="list-style-type: none"> 1. Борьба с конкурентами 2. Захват новых секторов рынка или его монополизацию

Если в примере с медицинским обслуживанием измерять уровень здоровья ожидаемой продолжительностью жизни, то классический утилитаризм предусматривает такую трату добавочных средств, которая максимизирует суммарное приращение ожидаемой общей продолжительности жизни. Такой подход имеет совершенно неприемлемое следствие, состоящее в том, что жизнью людей с тяжелыми заболеваниями можно пренебречь, т.к. расходы на поддержание их здоровья в большинстве случаев не могут значительно продлить жизнь людей, страдающих тяжелыми недугами.

Рассмотрим еще пример, но уже из нефтегазовой отрасли, хотя он без труда может быть спроецирован и на другие отрасли и задачи.

Пусть для двух населенных пунктов одинакового (и небольшого) размера выбирают место расположения газораспределительной станции (ГРС) (совместного предприятия обслуживания). Населенные пункты соединены двумя газопроводами высокого давления. Протяженность длинного газопровода составляет 5 км, а короткого – 3 км. Обозначим через C точку, находящуюся на короткой дороге на расстоянии 1 км от A . Газопровод на участке от C до B проходит в горах, что не позволяет построить там ГРС. Таким образом, приходится выбирать место расположения либо на длинной «нитке», ее середина в точке D либо между A и C на короткой «нитке» (рис. 3.9).

Мэру каждого населенного пункта хочется, чтобы ГРС было расположено поближе к «его» пункту (и по причине того, что его жители работают на ГРС и по причине стоимости проекта газификации), поэтому полезность варианта стратегии измеряется расстоянием от населенного пункта до предприятия. Если расположить ГРС в точке D , то оно будет находиться на равном расстоянии от каждого населенного пункта, но это расстояние будет равно 2,5 км. Если расположить ГРС в точке C , то жители городка A , работающие на ГРС будут в более выигрышном положении, чем жители городка B . Но до точки C всем будет ближе, чем до точки D . Таким образом возникает дилемма: выбрать размещение в точке C с максимальной суммой индивидуальных полезностей, либо в точке D , выравнивающей полезности. Добиться одновременно выполнения этих условий не возможно.

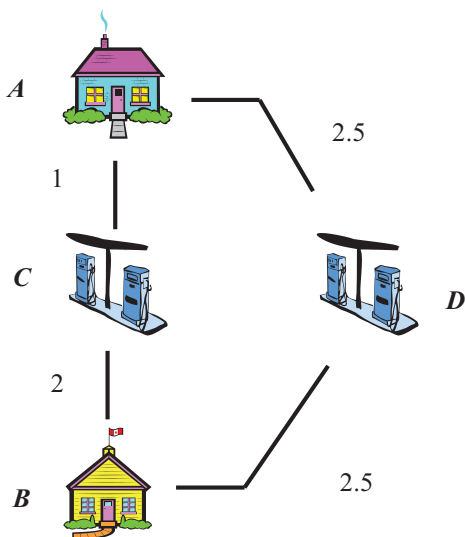


Рис. 3.9

Уже из этого примера видно, что формулировка цели: создать предприятие обслуживания (ГРС), которое было бы удобно посещать жителям населенных пунктов *A* и *B*, совершенно не определяет место расположения этого предприятия. Более того, оно даже не определяет понятие «удобно посещать», т.к. не формирует способ определения меры этого удобства.

Если мэр одного населенного пункта придерживается принципа эгалитаризма, мэр другого – утилитаризма, то при всем проявлении доброй воли договориться им будет трудно, не говоря о том, какого принципа придерживается руководитель газораспределительной организации (ГРО), для которого обеспечение безопасности газоснабжения может быть главной проблемой, хотя они все трое стремятся к одной и той же цели, сформулированной выше.

Эти простые примеры показывают, что компьютерная система, моделируя последствия выбираемых целей, должна показывать «подводные камни», которые могут появиться при их реализации.

Несмотря на различие утилитарного и эгалитарного подходов, они имеют общую функциональную черту. В обоих случаях исполь-

зуется функция коллективной полезности (ФКП), агрегирующая индивидуальные полезности в единый индекс полезности, который дает некоторую интегральную оценку. В пределах множества допустимых полезностей эти подходы выделяют коллективный оптимум: вектор полезностей, максимизирующий ФКП. Такой функцией является сумма индивидуальных полезностей для классического утилитаризма и их минимум для эгалитаризма. Возможны, конечно, и другие методы оценок. Еще в 1785 г. Кондорсе заметил, что рациональный выбор сообщества должен быть как можно ближе к способам выбора отдельных его членов. Наверно это утверждение нельзя возводить в универсальный принцип, т.к. легко построить опровергающие примеры, однако заметим, что проблему коллективного выбора пытаются решить уже третье столетие.

Любые два вектора индивидуальных полезностей должны быть сравнимы и эти сравнения должны быть транзитивными. Если довести этот подход до логической завершенности, то необходимо уметь сравнить любые две полезности и сказать какая из них больше, т.е. ранжировать эти полезности. К этому выбору в экономике, политике и даже технике приводят различные этические предположения (постулаты).

Одним из таких постулатов является принцип Пигу-Далатона. Он гласит, что передача полезности от объекта i к объекту j увеличивает (или хотя бы не уменьшает) коллективную полезность, если полезность объекта i выше полезности объекта j до и после передачи. Как эгалитарная, так и утилитарная ФКП удовлетворяет этому принципу. Выбирая ту или иную стратегию желательно ему следовать.

Практически оценки делают, исходя из функций полезностей, заданных ограничений и, конечно, того принципа оптимальности, которому следует специалист.

Глава 4

РОЛЬ СУБЪЕКТИВНЫХ ОЦЕНОК И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СИТУАЦИИ В ПРОЦЕССЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

4.1. Неопределенность ситуации, субъективность оценок и индивидуальность руководителя

В предыдущих главах уже отмечалось, что, несмотря на интенсивное развитие методов компьютерной поддержки принятия решений в экономике, политике и технике, сами системы поддержки принятия решений в эти области внедряются с большим трудом. Не анализируя все возникающие здесь трудности, отметим две, не всегда хорошо осознаваемые. Первая трудность заключается в том, что на решения человека сильнейшее влияние оказывают субъективные предпочтения и оценки, в то время как варианты решений, полученные вычислительными машинами, обычно воспринимаются как «объективно оптимальные», не учитывающие его персональные взгляды и интересы. Если бы компьютер выдавал рекомендации с учетом субъективных предпочтений, интересов и оценок руководителя, отношение к системам поддержки принятия решений, видимо, был бы другим. Поэтому одна из важнейших задач компьютерной поддержки принятия управленческих решений – это сочетание оценок, полученных уже устоявшимися (или вновь разработанными) методами исследования операций с субъективными оценками руководителя.

Второй трудностью, возникающей при практической реализации систем поддержки принятия решений, является проблема неопределенности [4.1 - 4.3], об этом уже говорилось в гл. 1. Между пробле-

мой неопределенности и субъективными оценками руководителя, сделанными им на основе собственного опыта, интуиции и предпочтений, а не на абсолютно точном знании, существует глубокая внутренняя связь.

В этой субъективности нет ничего плохого. Известно, сколько личного и субъективного вносят талантливые руководители и конструкторы в принимаемые ими решения. Именно в этих субъективных решениях и проявляется их талант и индивидуальность. Поэтому чтобы компьютерная система поддержки принятия решений стала действительным помощником руководителю, она должна учитывать представление руководителя о том, «что такое хорошо и что такое плохо», а методы анализа и принятия решений должны уметь воспринимать субъективные оценки руководителей в качестве входных данных.

Термин «неопределенность» был предложен Ф.Н. Knight в 1933г. [4.4]. Смысл термина заключался в том, что руководитель не знает или не может точно оценить состояние окружающей среды и результаты, проистекающие из нахождения среды в этом состоянии.

С этой точки зрения задачи принятия решений, можно подразделить на [4.5]:

- задачи, для которых возможна объективная оценка результата решения или хотя бы сравнительная оценка двух решений, например, выбор аэродинамических форм летательных аппаратов;
- задачи, для которых такая объективная оценка результатов решения отсутствует, и ее заменяют экспертные оценки специалистов. Это связано с появлением в этих задачах фактора неопределенности, который «объективно» измерить трудно или невозможно.

Примерами задач второго типа являются принятие экономических и политических решений, большинство задач предварительного проектирования (хотя там есть расчеты, но лишь ориентирующие) и т.д. Для этих задач характерна субъективная оценка человеком качества решения и участие человека в выработке решения. В задачах этого типа необходимо обеспечить выбор решения d (или комбинации решений) из возможного множества решений D при условии, что последствия принятия решения d зависят от неизвестной величины w состояния мира W [4.5]. В этом случае неопределенность порождает как субъективность восприятия и оценки ситуации человеком, так и

неполнота его знаний о ситуации. Таким образом, неопределенность является неотъемлемой частью процессов принятия решений.

Неопределенности часто разделяют на три класса: неопределенности, связанные с неполнотой наших знаний о проблеме, по которой принимается решение; неопределенность, связанная с невозможностью точного учета реакции окружающей среды на наши действия, и, наконец, неточное понимание своих целей лицом, принимающим решения. Свести задачи с подобными неопределенностями к точно поставленным целям нельзя в принципе [4.6]. Для этого надо «снять» неопределенности. Способом снятия этих неопределенностей в процессе принятия решений является субъективная оценка руководителем (экспертом) создавшейся ситуации (варианта решения) на основе его знаний, опыта и интуиции. Эта субъективная оценка оказалась в настоящее время единственно возможной основой объединения разнородных физических параметров решаемой проблемы в единую модель, позволяющую оценивать варианты решений [4.6].

Неопределенность, связанную с невозможностью точного учета реакции окружающей среды на наши действия, можно подразделить на внешнюю, внутреннюю [4.7] и личную [4.2].

Внешняя неопределенность связана с факторами, находящимися в очень слабой степени зависимости от воли руководителя или вне его контроля. Точная оценка и прогноз влияния этих факторов на решаемую проблему затруднительна. Это поведение конкурентов, в некоторых случаях, действия властных структур, характер спроса и т.п. Правильная оценка этих факторов имеет важнейшее значение. Как правило, она производится с учетом (или на основе) субъективного опыта и интуиции руководителя.

Внутренняя неопределенность связана с факторами, на которые руководитель может оказать достаточно сильное влияние. Сюда относятся: эффективность системы управления в организации, количество и качество ресурсов, квалификация специалистов и т.п. Оценка каждой из этих составляющих в значительной степени также производится на основе субъективных оценок и предпочтений руководителя.

Личная неопределенность связана с колебаниями в выборе средств достижения цели, сомнениями в выборе и оценке критериев, выбором математических моделей и т.д. Этот вид неопределенности

преодолевается руководителем или экспертом на основе своего субъективного опыта, образования и привычек, а выражается в субъективных оценках и предпочтениях.

Личная неопределенность может быть связана:

- с сомнениями одного руководителя. Она может быть уменьшена оценками вариантов решений (вариантов средств достижения цели), сделанными по его предпочтениям. Некоторые методы таких оценок и возникшие при этом неопределенности рассмотрены ниже;
- с необходимостью принятия групповых решений, вызванную различными взглядами членов группы на проблему. Этот вид неопределенности может быть снят согласованием решений.

Явление неопределенности породило понятие «неопределенно-го» числа, позволяющего характеризовать степень неопределенности. Известно три типа таких чисел: случайные, нечеткие и интервальные [4.8].

Степень неопределенности зависит от:

- сложности ситуации;
- доступности альтернатив;
- неясности результатов, полученных после реализации решения;
- отсутствие четкого представления о взаимосвязи возможных решений;
- четкости предпочтений руководителя возможным результатам, полученным после принятия того или иного решения;
- величины возможного выигрыша или потери в результате выполнения решения;
- требований процедурной рациональности;
- силы доступных (используемых) эвристик и ряда других трудно учитываемых факторов.

Ввести какую-либо меру для оценки влияния каждого из перечисленных факторов трудно. Важно знать, что они существуют и влияют на процесс принятия решений. Более того, чем больше степень неопределенности, тем большее значение в процессе принятия решений имеет субъективная оценка руководителя. Субъективная оценка руководителя – это оценка, сделанная им на основе собствен-

ного опыта, интуиции, предпочтения или интереса, а не на основе абсолютно точного знания.

Таким образом, руководитель или эксперт вынужден исходить из своих субъективных представлений об эффективности возможных альтернатив и важности различных критериев. С другой стороны, об успехах и неудачах большинства решений люди могут судить исходя только из своих субъективных предпочтений и представлений. Таким образом, субъективные оценки должны восприниматься формальным анализом в качестве входных данных. При этом, естественно, полученные результаты также должны восприниматься как субъективные. Поясню это примером.

Хорошо известно, что когда войска Юлия Цезаря перед решительным боем оказались прижатыми к водной преграде, он приказал сжечь корабли, перевозившие войска через водную преграду. Тем самым Цезарь показал войску, что отступления не будет, и у воинов остался выбор “победа или смерть”. Смеею предположить (да простится мне такая вольность), что если бы на месте Цезаря войсками командовал Кутузов, он приказал бы создать дополнительные средства переправы, чтобы в случае неудачи сохранить остатки армии, впоследствии усилить ее, и снова ударить по врагу. Его концепция заключалась в том, чтобы не допустить уничтожение своей армии противником. Примеры таких различных оценок вариантов решений в одной и той же ситуации очень крупными и опытными специалистами можно видеть достаточно часто. Давая диаметрально противоположные оценки, оба руководителя могут быть по-своему правы. Каждый из них мог бы достичь успеха, используя свой метод, свои возможности, свои особенности мышления.

Признанием фактора субъективности оценки руководителя в принятии решения нарушен фундаментальный принцип методологии исследования операций: поиск объективно оптимального решения. Признание права на субъективность решения в рамках данной модели и аксиоматики есть признак появления новой парадигмы, характерной для другого научного направления - принятия решений при многих критериях и оценке субъективной функции полезности или, как ее часто называют, функцией предпочтения.

Однако при принятии решений по многим критериям существует и объективная составляющая. Обычно эта составляющая включает

в себя ограничения, накладываемые внешней средой на возможные решения (наличие ресурсов, временные ограничения, экологические требования, социальная обстановка и т.п.) и объективные законы развития управляемого процесса, если они известны.

4.2. Неопределенность и субъективность в оценке вариантов решений

Термин «оценка» используется в двух значениях: как результат измерения и как процесс. Процесс оценки состоит в переходе из пространства состояний системы в критериальное пространство, то есть в установлении зависимости между значениями параметров системы и значениями критериев (см. разд. 4.3).

На неопределенность в оценке вариантов решения влияют различные факторы: точность оценки параметров, выбор и оценка важности критериев, адекватность математической модели, личные качества эксперта или руководителя и т.д. Рассмотрим сначала один фактор – точность измерения, и покажем, как, варьируя только точностью измерения, могут меняться результаты оценок.

Важность точности измерения хорошо известна во многих областях человеческой деятельности, но не всегда отдают себе отчет, что от точности измерений (здесь не имеется в виду обман, жульничество) могут зависеть, например, результаты соревнований.

Поясим это простым примером [4.10]. Три группы бегунов: А, В и С, в каждой группе по два человека, вышли на соревнование. Зачет осуществляется по среднему времени каждой группы.

В табл. 4.1-а, б, с показано время, затраченное бегунами на дистанции. В первой строке указаны время 1-го бегуна каждой группы, во второй - 2-го, в третьей - их среднее время и в четвертой – место группы. Предположим, что первый судья определяет их время с точностью до секунды (табл. 4.1-а), как это делалось очень давно. Тогда на первом месте оказывается группа А, а группы В и С делят второе и третье места. Пусть другой судья определяет их время с точностью до 0.1 секунды, табл. 4.1-б, как это делалось недавно. Теперь на первом месте группа В, на втором - А и на третьем месте - группа С. Третий судья определял время бегунов с точностью до 0.01 секунды, табл. 4.1-с, как это делается теперь. По замерам третьего

судьи на первом месте оказалась группа С, на втором - В и на третьем месте - А. Таким образом в зависимости от точности замеров места групп бегунов все время менялись. Конечно, совсем не обязательно, чтобы это происходило всегда, но такой парадокс возможен.

Таблица 4.1-а

А	В	С
9	10	10
10	10	10
9.5	10	10
I	II-III	II-III

Таблица 4.1-б

А	В	С
9.9	10.1	10.1
10.7	10.3	10.4
10.3	10.2	10.35
II	I	III

Таблица 4.1-с

А	В	С
9.95	10.19	10.12
10.78	10.39	10.41
10.365	10.29	10.265
III	II	I

Этот пример показывает как субъективность, связанная с выбором точности измерения физических величин, влияет на определение результата. Теперь представим себе, что обсуждаются нормативы квалификационных показателей по бегу на определенную дистанцию для определения результатов, дающих право на звание мастера спорта. Наверно в процессе обсуждения будет предложен сначала некоторый интервал, скажем от 16 до 19 секунд, который в процессе обсуждения будет сжат до точки, например, 17,3 секунды. Можно ли определить на основе какого-либо измерения, что мастер спорта должен пробегать эту дистанцию именно за 17,3 секунды. Видимо, это в значительной степени субъективная оценка членов коллегии, принимавших это решение. Она, конечно, базируется на достаточно серьезных аргументах. Но члены коллегии, определяющие нормативы мастера спорта будут проводить различные (субъективные!) доводы за и против этой цифры. Заметим, что если бегун пробежит эту дистанцию не за 17,3 сек., а за 17,31 сек. он уже не мастер спорта, а если бы измерения проводились с точностью до 10^{-6} сек., то результат 17,300001 сек. уже лишил бы его этого титула, хотя цифра 17,3 сек. достаточно условна.

Уже в простом примере с квалификацией мастера спорта мы столкнулись с проблемой неопределенности и связанной с ней субъективностью при определении границы принадлежности к некоторому множеству (в нашем примере - к множеству мастеров спорта). Эта очень широкая и очень важная проблема. С ней встречаются ежедневно. Оценивая ученика, преподаватель должен определить, при-

надлежит ли он к множеству отличников, хорошистов и т.д. Можно произвести более тонкие оценки по десятибалльной шкале или более грубо - разбить учеников на два подмножества: успевающих и не успевающих. Как определить, например, уровень разделения между оценками школьника «отлично» и «хорошо»? Обычно эту проблему пытаются разрешить формулировкой требований к знаниям ученика, удовлетворяющим той или иной оценке. Но, наверно, каждый на собственном опыте знает, насколько субъективны такие оценки, и как трудно установить истину даже при возникновении конфликтных ситуаций. (Да и что такое истина в таких случаях?)

Несколько проще ситуация в тех случаях, когда требуется дать субъективную качественную оценку некоторому физическому параметру. Например, «дорого», «недорого», «дешево». Для этой цели часто используют лингвистические переменные (их называют также лексическими переменными). О них еще будет сказано ниже.

Теперь вернемся к генерации вариантов решения и выбору средств достижения цели. Пусть на основании значений коэффициента достоверности заключений [4.3] необходимо для одной и той же группы скважин выбрать комплекс геофизических исследований скважин (ГИС). Выбор комплекса ГИС производится на основании расчета среднего значения коэффициента достоверности по трем группам наблюдений (в первую строку табл. 4.2 записываются данные первой группы наблюдений, во вторую – второй и в третью – третьей). Пусть данные определяются «заказчиком» – (например, главным геологом нефтедобывающего предприятия) и «исполнителем» – главным геологом геофизического предприятия. Вычислительная система сгенерировала три варианта комплексов ГИС, отличающиеся друг от друга тем, что в комплексе ГИС1 присутствует один дополнительный метод ГИС, в ГИС 2 – два, в ГИС3 – три. «Заказчик» вычислял значения коэффициентов с точностью до двух знаков после запятой (табл. 4.2-b), «исполнитель» до одного знака (табл. 4.2-a). Выбранным считался комплекс ГИС, имеющий наибольшее среднее значение коэффициента достоверности, то есть занявший при ранжировании первое место. Из таблиц 4.2-a и 4.2-b видно, что «заказчик» и «исполнитель» получили различные результаты. Более того, после обсуждения этого факта, они повысили точность измерений до трех знаков и получили третий, отличный от двух предыду-

щих результат (табл. 4.2-с). Таким образом, также как и в предыдущем примере, в зависимости от точности замеров, менялись при ранжировании места комплексов ГИС, и на этом основании может показаться затруднительным дать однозначный ответ о выборе комплекса ГИС в рассматриваемой группе скважин.

Таблица 4.2-а

ГИС1	ГИС2	ГИС3
0.7	0.8	0.8
0.8	0.8	0.8
0.9	0.8	0.9
0.8	0.8	0.833
II-II	II-III	I

Таблица 4.2-б

ГИС1	ГИС2	ГИС3
0.74	0.82	0.75
0.84	0.83	0.76
0.89	0.83	0.85
0.823	0.827	0.787
II	I	III

Таблица 4.2-с

ГИС1	ГИС2	ГИС3
0.744	0.821	0.751
0.844	0.831	0.762
0.899	0.830	0.852
0.829	0.827	0.788
I	II	III

Табл. 4.3-а и 4.3-б являются примерами, показывающими разброс величин оценок, связанными не с точностью, а с неопределенностью исходных данных и методами оценок. Так в исследовании [4.11] об убытках, вызванных разливами р. Маас, было сгенерировано пять стратегий борьбы с разливами. Прогнозы оценок потерь в миллионах датских гульденов в результате применения этих стратегий даны в табл. 4.3-а [4.11]. В данном случае степень неопределенности выражается разницей между максимальными и минимальными потерями.

Таблица 4.3-а

№ стратегии	Минимальная оценка потерь (млн. датских гульденов)	Максимальная оценка потерь (млн. датских гульденов)
1	5	10
2	5	10
3	6	12
4	30	140
5	32	143
не предпринимать никаких мер	135	370

В табл. 4.3-б представлены экономическая и технологическая эффективности различных методов воздействия на пласт с целью повышения его нефтеотдачи [4.3].

Таблица 4.3-б

Метод воздействия	Себестоимость 1м ³ доп. доб. нефти, долл. США	Уд. кап. затраты, тыс. долл. США (м ³ /сут.)	Прирост нефтеотдачи %	Конечная нефтеотдача, %
Горение	63-157	50-157	10-30	45-50
Пар	63-119	50-157	15-35	45-50
Нагнетание CO ₂	63-189	63-157	8-20	55-60
Поверхностно-активные вещества	126-314	94-189	12-30	45-50
Полимеры	63-157	63-189	2-10	45-50

Здесь неопределенность также выражается разницей в максимальном и минимальном эффекте в зависимости от применяемого метода воздействия.

Заметим, что табл. 4.3-а и 4.3-б не ранжируют стратегии, а иллюстрируют разброс оценок.

4.3. Субъективность в формировании набора критериев и оценке их важности

А. Определение понятия «критерий»

Выше уже отмечалось, что компьютерные технологии должны использовать как объективные данные, так и субъективные оценки руководителя и эксперта. Для того чтобы эти субъективные оценки могли быть использованы в компьютерных технологиях, они должны быть формализованы. Для решения этой задачи широко используется критериальный подход. Критерии - это признаки, по которым производится (или будет производиться) оценка решения результата, выполняемого процесса, созданного устройства, полученной прибыли и т.п. «система критериев является ничем иным, как формализацией наших пожеланий и требований к качествам синтезируемого процесса или объекта» [4.12]. Смысл критериальной оценки заключается в том, что она связывает субъективную оценку руководителя с параметром, имеющим четкий физический смысл, например: «100 000 рублей – дорого, 4 500 рублей – дешево». Между этими двумя крайними оценками может существовать множество промежуточных значений критериев. Цель критериальных оценок: выделение одного

или нескольких вариантов решений, объектов и т.п., в некотором смысле лучших каким-либо заранее оговоренным условиям. Для решения этой задачи традиционно используется критериально-экстремизационный подход, который может быть описан следующим образом [4.13].

Множество вариантов A или любое его подмножество $x(x \subseteq A)$ проецируется на числовую ось так, что каждому варианту соответствует конкретная точка числовой оси. В одну и ту же точку может (либо не может) проецироваться более одного варианта. Процесс проецирования, то есть приписывание элементам из A числовых значений соответствующим точкам числовой оси, в которые они проецируются, называется шкалированием, а числовая ось – шкалой. Если после такого проецирования упорядочить все варианты из A по величине приписываемых им числовых оценок и сохранить за вариантами лишь их порядковый номер, то сформированная таким образом шкала называется порядковой и ранговой.

Если вариант считается тем лучше, чем большая (или меньшая) ранговая оценка приписывается варианту – шкала называется критериальной. Теперь можно ввести математическое определение критерия.

Критерием называется функция $f(x)$, заданная на всех вариантах x из A , и имеющая числовые значения, определяемые критериальной шкалой. Функция $f(x)$ – это способ выражения руководителем различий в оценке вариантов.

Выбор подмножества Y_A лучших вариантов из A по заданному критерию $f(x)$ называется эскремизационным, если он осуществляется по правилу [4.13]:

$$Y_A = \{y \in A / \exists x \in A : f(x) > f(y)\} \quad (4.1)$$

или

$$Y_A = \{y \in A / \exists x \in A : f(x) < f(y)\}.$$

Во многих случаях задается не один критерий, а вектор критериев $\bar{x} = \{x_i, i = \overline{1, n}\}$, где i – номер критерия, а n – число критериев. В этом случае скалярные неравенства (4.1) должны быть заменены векторными:

$$Y_A = \{y \in A / \exists x \in A : \bar{x} > \bar{y}\},$$

$$Y_A = \{y \in A / \exists x \in A : \bar{x} < \bar{y}\}$$

Необходимо подчеркнуть, что критерий может зависеть от «контекста», то есть от условий, в которых он вычисляется. В литературе критерии, зависящие от «контекста», иногда называют псевдокритериями [4.13]. Типичным примером влияния «контекста» на значения критериев является выбор лучших по турнирной таблице. Пусть турнир окончен, турнирная таблица заполнена и победитель определен. Для простоты будем считать, что 1 проставляется в случае победы и 0 – при поражении или ничьей. В табл. 4.4 показан результат турнира. В столбце Σ_1 проставлена сумма очков. По сумме очков первое место занял игрок x . Предположим, что после окончания игр игрок v дисквалифицирован за применение допинга. У него отнюдь не лучшие показатели, но сумма баллов, набранная игроками и показанная в столбце Σ_2 , изменилась, и первое место теперь разделяют игроки x и y . Принципиальным является то, что смена победителя предопределена не только тем, что изменилось число игроков, но и тем, что изменились шкальные оценки игроков.

Таблица 4.4

Игроки	x	y	z	u	v	Σ_1	Σ_2
x	–	0	1	1	1	3	2
y	1	–	1	0	0	2	2
z	0	0	–	1	1	2	1
u	0	1	0	–	1	2	1
v	0	1	0	0	–	1	–

В. Субъективность в выборе критериев и компьютерная поддержка формирования их списка

Выбор критериев является одним из наиболее сложных вопросов в формировании решений. Набор используемых критериев зависит от субъективных оценок руководства, от их видения проблемы и характера цели, которую стремится достичь организация. Для всякой конкретной области приложений существует свой более менее устойчивый набор критериев, который может варьироваться в зависимости от сложившейся обстановки и субъективных предпочтений руководителя.

В работе [4.14] утверждается, что фирмы и корпорации для оценки целей и стратегий их реализации чаще всего используют следующие критерии, назовем их производственными:

- сбалансированность бизнеса, она могла достигаться диверсификацией за счет приобретения новых предприятий, работающих в других областях экономики или самостоятельным освоением новых видов товаров, услуг и секторов рынка;
- синергетика, т.е. достижение интегральной эффективности большей, чем сумма эффективностей каждого отдельного подразделения или предприятия, входящего в фирму;
- компетентность коллектива, т.е. уровень знаний и умений сотрудников фирмы;
- специализация в тех областях деятельности, в которых фирма достигла наилучших результатов;
- рост капитализации фирмы;
- обеспеченность фирмы необходимыми средствами (ее называют выживаемостью);
- минимизация риска потерь или даже краха фирмы за счет диверсификации областей риска.

Естественно, что руководители могут добавлять какие-то критерии, а от других отказываться. Пусть в нашем примере принято решение, что в дальнейшем будут учитываться только критерии, с которыми согласны все руководители.

СППР высвечивает на дисплее каждого руководителя список критериев, в нашем случае – список, перечисленный выше, и просит руководителей вычеркнуть те критерии, с которыми они не согласны, и добавить новые, если они считают это нужным. СППР анализирует результаты и высвечивает на дисплеях руководителей список критериев (табл. 4.5), с которыми согласны все. Пусть в нашем случае не все руководители посчитали нужным использовать критерии диверсификации и рост капитализации, они не вошли в этот список.

Таблица 4.5

1	Сбалансированность
2	Синергетика
3	Компетентность
4	Специализация
5	Выживаемость

Таким образом, СППР помогла руководителям составить список критериев, по которым будет производиться оценка целей и страте-

гий. Теперь можно приступать к оценке их значений на основе результатов анализа сложившейся обстановки и "весов" (полезности для каждой цели).

Отметим, что набор критериев определяется как физической природой решаемой задачи, так и предпочтениями руководителя. При этом критерии руководителя могут резко отличаться от традиционных или общепринятых.

Полнота набора критериев имеет прямое отношение к проблеме неопределенности. Она связана в первую очередь с пониманием того, насколько важны критерии, входящие в набор, для характеристики задачи. Увеличение числа критериев, как будто, должно повышать точность решения задачи: учитывается большое число факторов. С другой стороны, если эти факторы учитываются неверно, то возрастает величина ошибки.

С. Субъективность в определении «весов» критериев и компьютерная поддержка их определения

Одним из способов снятия неопределенности в соответствии с поставленной целью является оценка «весов» или значимости критериев.

Руководители часто не задумываются над критериями качества решения и, тем более, над относительной важностью критерия и целесообразностью улучшения параметров по одним критериям за счет ухудшения других. Что, собственно, значит субъективная оценка «веса» критерия и почему она так важна? Попытаемся пояснить это на простом примере.

Допустим, на предприятии закончена установка нового оборудования и введена новая технология. Будет ли руководитель реализовывать стратегию привлечения новых капиталовложений? Это зависит от оценки ситуации и намерений руководителя.

- Если руководитель считает, что еще достаточно длительное время никаких новых технологий и нового оборудования для них использовать в производстве не нужно, то новые капиталовложения не нужны. «Вес» этого критерия он оценит в 1 или 2 балла.

- Если руководитель считает, что хорошо бы использовать успех и несколько расширить производство, тогда капиталовложения

бы не помешали. В этом случае «вес» критерия может быть оценен в 3 и даже в 4 балла.

- Если руководитель считает, что нужно обязательно использовать вновь появившиеся технологии и произвести агрессивный захват рынка за счет расширения производства по уже освоенным технологиям, тогда «вес» критерия капиталовложения будет равен 5 баллам.

Конечно, то или иное решение руководитель будет принимать, исходя из своих представлений о спросе продукции, поведении конкурентов и других факторов. На основании этих данных он сформулирует варианты технических и коммерческих стратегий и, исходя из принимаемого варианта, определит «веса» критериев.

Таким образом, нельзя сказать, что «вес» данного критерия является константой. Он зависит от субъективного решения руководителя в сложившейся обстановке.

Методам оценки значимости критериев посвящено довольно много работ. В качестве примера рассмотрим процедуры снятия неопределенности тремя методами оценки «весов» критериев: теории графов, подпространств текущего состояния и цели, и линейного программирования.

Оценка «весов» критериев методами теории графов. Графовая структура предоставляет средства отображения причинно-следственных связей: это пути, вершины и циклы. Они оказываются полезными для анализа сложных взаимозависимостей.

Каждой вершине x графа поставим в соответствие некоторый параметр V_x . Каждое ребро $x \rightarrow y$ графа, соединяющее вершину x с вершиной y , определяет влияние параметра V_x вершины x на параметр V_y вершины y . Силу этого влияния выражает приписанный ребру «вес» $W_{x,y}$, положительный или отрицательный.

Структурная оценка важности вершин графа позволяет верифицировать порядок предпочтения соответствующих факторов, т.е. определять важность критериев. Важность вершины графа можно оценивать как изменение совокупности связей графа в результате удаления этой вершины. Связь, изменяющаяся при удалении вершины, будет считаться зависящей от вершины. Связь, исчезающая при удалении вершины, будет считаться контролируемой этой вершиной.

Для выявления циклов графа целесообразно предварительно выделить в нем сильно связанные области, т.е. такие максимальные подграфы, каждая из вершин которых связана с любой другой из этого подграфа ориентированным путем. Если таким подграфам поставить в соответствие вершины, связи, между которыми соответствуют связям между подграфами, то получим граф, называемый графом конденсаций [4.15]. Граф конденсации, как правило, имеет существенно меньшую размерность, чем граф в целом. Поэтому при рассмотрении характеристик вершин графа как возможных критериев оценки решения, переход к сильно связанным областям позволяет перейти к агрегированным критериям, сокращая их число, а анализ дуг облегчает определение «веса» критерия.

Наличие в графе нескольких сильно связанных областей говорит о том, что в графе существует несколько отдельных систем циклов, связь которых друг с другом имеет только односторонний характер.

Поскольку граф конденсации является ациклическим, в нем можно выделить вершины-истоки и вершины-стоки. Все прочие вершины графа конденсации можно ранжировать в зависимости от их расположения между истоками и стоками. Это расположение отражает «важность», «вес» вершин, принимаемую условно как степень их влияния друг на друга. Можно считать, что вершина является тем более «влиятельной», чем она ближе к истоку и чем дальше от стока [4.16]. Такой подход позволяет ранжировать вершины, но не дает ответа на вопрос насколько одна вершина «важнее» другой. «Важность» вершины в пределах произведенного ранжирования определяется субъективной оценкой специалиста.

Вершины внутри сильно связанной области нельзя ранжировать подобным образом, однако их можно ранжировать по нескольким параметрам, таким, как число входящих и выходящих ребер вершины, число циклов, проходящих через вершину, длина минимального цикла, максимальный «вес» положительного и отрицательного цикла и т.д.

Оценка «весов» критериев с использованием подпространств текущего состояния и цели. Для критериального анализа ситуации введем в рассмотрение в пространстве значений критериев два подмножества S и D . S – это подмножество, в котором руководителю желательно иметь значения критериев, характеризующих объ-

ект после выполнения решения (сценария, выполнения управляющего воздействия). В тех случаях, когда желательное состояние задается координатами, а не интервалами, подмножество S может состоять из одной точки s_0 . D – это подмножество точек, определяющее по оценкам руководителя текущее состояние объекта, относительно которого принимается решение. Множество D может состоять из одной точки, обозначим ее d_0 , если текущее состояние задается координатами, а не интервалами.

Значения j -го критерия (а также связь этого значения с физическими параметрами) для подмножеств S и D могут быть выражены с помощью базовых шкал, о которых говорилось выше.

При таком подходе значимость, важность j -го критерия (его «вес») – K_j будет некоторой функцией от значений j -го критерия в областях D и S . Значения j -го критерия в областях D и S обозначим соответственно K_j^D и K_j^S . Значение K_j определим функцией:

$$K_j = \gamma_j F_j(K_j^D, K_j^S).$$

Конкретным видом функции F_j может быть разность K_j^S и K_j^D , показывающая насколько надо улучшить положение, или их частное, показывающее во сколько раз надо улучшить положение. Коэффициент γ_j определяется на основе опыта и знаний руководителя или эксперта. Поясним сказанное примером. Пусть уровень доходов по десятибалльной критериальной шкале оценивается 1, а желательная оценка – 6. Критериальная оценка текущего состояния продаж – 5, желательная оценка – 6. Тогда:

$$K_{дох} = \gamma_{дох} (K_{дох}^S - K_{дох}^D) = \gamma_{дох} (6 - 1) = 5\gamma_{дох}$$

$$K_{прод} = \gamma_{прод} (K_{прод}^S - K_{прод}^D) = \gamma_{прод} (5 - 6) = 1\gamma_{прод}$$

Видимо, увеличение доходности актуальней увеличения объема продаж, а руководитель не связывает напрямую объем продаж с доходностью, иначе $K_{прод}^S$ было бы больше. С другой стороны, «вес» $K_{дох}$ не обязательно должен быть больше «веса» $K_{прод}$ в пять раз. Исходя из своего опыта и знаний руководитель или эксперт может определить величины $\gamma_{дох}$ и $\gamma_{прод}$ или, что то же, $K_{дох}$ и $K_{прод}$ используя значения 5 и 1 в качестве ориентиров или, как говорят в артиллерии, реперов – пристрелянных ориентиров.

Оценка «весов» критериев методом линейного программирования. Пусть функция предпочтения имеет вид:

$$\pi = \sum_{j=1}^m K_j \pi_j,$$

а значения π_j для вариантов A, B, C, D по двум критериям показаны в табл. 4.6 [4.17].

Таблица 4.6

Вариант	A	B	C	D
π_1	1	2	3	4
π_2	7	6	4	1

Эксперты или руководители, исходя из своих субъективных предпочтений, проранжировали эффективность вариантов следующим образом:

$$D > C > A > B.$$

Очевидно, что «веса» K_1 и K_2 должны быть такими, чтобы выполнялись неравенства:

$$4K_1 + K_2 > 3K_1 + 4K_2 > K_1 + 7K_2 > 2K_1 + 6K_2.$$

Сформулируем задачу линейного программирования для определения K_1, K_2 и ε следующим образом [4.17]:

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \max \\ K_1 + K_2 &= 1 \\ 4K_1 + K_2 &\geq 3K_1 + 4K_2 + \varepsilon \\ 3K_1 + 4K_2 &\geq K_1 + 7K_2 + \varepsilon \\ K_1 + 7K_2 &\geq 2K_1 + 6K_2 + \varepsilon \end{aligned}$$

Подставляя $K_2 = 1 - K_1$, преобразуем неравенства к виду:

$$\frac{1 - \varepsilon}{2} > K_1 \geq \frac{3 + \varepsilon}{4}$$

Отсюда $\varepsilon = -(1/3), K_1 = 2/3$.

Отрицательная величина ε означает, что оценки экспертов (упорядочивание $D > C > A > B$) противоречивы. Тем не менее, получены значения "весов" критериев при которых эти противоречия сведены к минимуму, т.е. система неравенств не имеет решения, но найдено

решение с минимальной невязкой. В этом случае имеем следующие оценки вариантов.

$$\pi_A = 3, \pi_B = 3\frac{1}{3}, \pi_C = 3\frac{1}{3}, \pi_D = 3.$$

Если эксперты или руководитель не ранжируют варианты решений, а только называют лучший с их точки зрения вариант из предъявленных, то противоречий не возникает. Пусть руководитель считает, что лучшим является вариант решения В.

Тогда имеем:

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \max \\ K_1 + K_2 &= 1 \\ 2K_1 + 6K_2 &\geq K_1 + 7K_2 + \varepsilon \\ 2K_1 + 6K_2 &\geq 4K_1 + K_2 + \varepsilon \\ 2K_1 + 6K_2 &\geq 3K_1 + 4K_2 + \varepsilon. \end{aligned}$$

Эта система неравенств сводится к следующей:

$$\frac{1+\varepsilon}{2} \leq K_i \leq \min\left(\frac{5-\varepsilon}{7}; \frac{2-\varepsilon}{3}\right).$$

Соответствующее решение с максимальной величиной ε имеет вид: $\varepsilon = 1/5, K_1 = 3/5, K_2 = 2/5$.

В этом случае имеем следующие оценки вариантов:

$$\pi_A = 3.4, \pi_B = 3.6, \pi_C = 3.4, \pi_D = 2.8.$$

Заметим, что этот вариант ранжирования вариантов решений, кажущийся значительно проще для руководителя и не несущий в себе опасности противоречивости, фактически не дает возможности руководителю полностью сообщить системе поддержки принятия решений свое отношение к различным вариантам решений.

Особенно сложна оценка динамической составляющей, т.к. она связана с гипотезами о характере развития ситуации. Хорошо известно насколько ненадежны эти гипотезы, особенно при неустойчивых состояниях объектов исследования. Степень неопределенности в таких оценках резко возрастает, но и неучет динамической составляющей может привести к серьезным ошибкам в принятии решений.

4.4. Неопределенность и субъективность в математических моделях, используемых при поддержке управленческих решений

Модель в широком смысле – любой образ, мысленный или условный аналог какого-либо процесса, объекта или явления (оригинала данной модели), то есть искусственно создаваемый образ конкретного объекта, процесса, устройства или явления.

В разд. 3.3.В уже отмечалось, что вопрос о применении математических моделей для анализа проблем принятия решений в экономике, экологии, политике и других областях, законы функционирования которых еще плохо формализованы и изучены, не может рассматриваться также как, например, в физике, в которой математические модели являются результатом многовековых достаточно успешных исследований. В экономике, экологии, политике и некоторых других областях математические модели достаточно грубы, иногда дают даже качественные неверные предсказания. Это связано, в частности, как с огромной сложностью этих проблем, так и с их зависимостью от чисто субъективных факторов, кроме того, нельзя не учитывать, что модель может оказаться неустойчивой. Поэтому отношение к результатам моделирования задач, относящихся к этим областям как к чему-то безусловному, столь естественное, например, в большинстве областей физики, недопустимо [4.18].

Решение этой проблемы может быть найдено, если использовать математические модели и методы для оценки возможных сценариев (вариантов решений), которые воспринимаются как рекомендации для последующей оценки руководителем и, возможно, неформального анализа.

В качестве примера полезности таких моделей можно привести одно из первых, если не первое, исследование модели мировой динамики, осуществленное в конце 60-х годов Дж. Форрестером [4.19]. Он связал основные экономические и демографические характеристики с помощью простых соотношений для того, чтобы затем изучить в динамике взаимное влияние этих характеристик и получить некий вариант развития мировой экономики. Несмотря на произвольность многих допущений, исследование смогло предсказать проблемы, возникшие в последующие годы: подорожание некоторых

видов ресурсов, нарастающее загрязнение окружающей среды, нехватка сельскохозяйственной продукции и т.д.

Для описания таких моделей используется различный математический аппарат: методы субъективной вероятности, нечеткие множества, нейронные сети, кусочно-линейная аппроксимация, системы алгебраических и дифференциальных уравнений и т.д. Подобные модели являются средством уменьшения степени неопределенности при выборе возможных вариантов решений, генерируемых вычислительной системой. В качестве примеров, конечно, далеко не полных, рассмотрим неопределенность и связанную с ней субъективность, характерную для некоторых математических моделей.

А. Модели, использующие субъективную вероятность

Первые попытки количественной оценки неопределенности, давшие хорошие результаты, были связаны с теорией вероятности. На протяжении долгого времени в науке не было другой количественной меры неопределенности. Возможно, именно поэтому возникли методы, использующие субъективную вероятность.

Субъективные оценки вероятности не базируются на аксиоматике Колмогорова и условиях предельных теорем. В основе подхода лежит предположение, что вероятностные оценки определяются отношением наблюдателя к системе и характером его восприятия происходящих событий. Фактически вероятность рассматривается, как субъективная мера убежденности (веры) наблюдателя, соответствующая его знаниям и опыту, в истинности (или ложности) предложенного ему утверждения (высказывания). Вероятность при субъективном подходе не связана с повторяемостью эксперимента. Например, наблюдатель может оценивать степень справедливости научной теории. Субъективные оценки вероятности могут быть выражены в процентах, показывающих убеждение автора в важности отдельных факторов или в других терминах.

Субъективные вероятности оценки рассмотрим на подходе субъективной ожидаемой полезности [4.20, 4.21]. Пусть специалист, принимающий решение, должен осуществить выбор из конечного множества альтернатив: $A = \{a / i = 1, \dots, m\}$. Последствия каждой альтернативы ему ясны не вполне. Они зависят от внешних факторов или состояний, находящихся вне контроля руководителя (внешняя

неопределенность). Будем считать, что таких состояний также конечное множество $Q = \{q_j / j = 1, \dots, n\}$. Выбирая альтернативу a_i для состояния q_j , приходим к последствию c_{ij} , лежащему в соответствующем пространстве C .

Таким образом, связываются состояния объекта, альтернатива выбора (решение) и последствия принятого решения. Эту связь можно записать в виде:

$$A * Q \rightarrow C.$$

Введем две функции:

- субъективной вероятности $P(*)$, которая отражает представления руководителя о возможных или правдоподобных состояниях мира;
- полезности $U(*)$, которая представляет предпочтения руководителя.

Возможные альтернативы могут быть ранжированы по правилам:

$$U(a_i) = \sum_j P(q_j)U(c_{ij}), \quad i=1, \dots, n. \quad (4.2)$$

Последствия выбора альтернативы a_i , если состояние q_j представлено в (4.2), определяется c_{ij} . Отсюда требования достаточно полной характеристики c_{ij} через некоторый набор атрибутов $c_{ij} = (c_{ij1}, \dots, c_{ijp})$. Таким образом, c_{ij} становится p -мерным вектором. Естественно желание, чтобы c_{ij} была «хорошей» функцией, например, аддитивной функцией $U(C_{ij}) = \sum_k U_k(c_{ijk})$, где $U_k(*)$ – p -компонентные

функции полезности, в этом случае предпочтение руководителя к каждому атрибуту должно быть независимым, что в реальных условиях принятия решений может оказаться слишком сильным ограничением.

Аналогично можно заметить, что q_j должно являться полным описанием j -го состояния. Иногда q_j может быть вектором, содержащим q параметров, и опять возникает вопрос, является ли $P(*)$ «хорошей» функцией от q аргументов.

Основная трудность в использовании соотношений типа (4.2) – это определения рассмотренных выше функций. Функцию $U(*)$ можно также рассматривать как субъективное отношение руководителя к риску, как функцию ценности, определяемую руководителем или

функцию его предпочтений, как указывалось выше. В (4.2) субъективная вероятность того, что процесс окажется в состоянии q_i также может быть выражен в процентах, величиной $0 < \alpha < 1$ или лингвистической переменной. Все три способа выражения эквивалентны и легко могут быть преобразованы один в другой. В вычислительную систему могут быть введены таблицы преобразующие эти способы друг в друга, и здесь напрашивается некоторая аналогия между функцией субъективной вероятности и функцией принадлежности множеству $\mu_A(u_i)$ (см. ниже).

В. Модели, использующие нечеткие множества

В господствующих подходах, порожденных декартовой рационалистической методикой, традиционно существует тенденция отвергать такие термины, как неясность, неопределенность, нечеткость или неточность. Однако в реальном мире мы неминуемо сталкиваемся с множеством случаев, когда невозможно избежать проблемы учета неясностей и неточных данных о событиях, характеристиках и оценках. Этим и вызвано появление методов, использующих субъективную вероятность, но, видимо, сомнения в правомерности их применения, породили к жизни другую модель, вызвавшую также очень много сомнений и споров.

В 1965г. Заде предложил теорию нечетких или размытых множеств [4.22], получивших также название нечеткой логики. Теория нечетких множеств дала схему решения проблем, в которых субъективное суждение или оценка играют существенную роль при оценке фактора неясности и неопределенности.

Теория нечетких множеств прошла путь от разработки формальных средств представления плохо определяемых понятий, используемых человеком, и аппарата для их обработки, до моделирования приближенных рассуждений, к которым человек прибегает в повседневной и профессиональной деятельности и даже до создания компьютеров с нечеткой логикой.

Преимущество подхода нечеткой логики перед классическим подходом при использовании их в системах управления заключается в том, что при нечетком подходе аналитическое описание процесса может не делаться. Во многих случаях достаточно только профессионального описания того, как процессом управляет опытный опе-

ратор, в то время как при классическом подходе необходимы как аналитическое описание самого процесса (математические, химические и т.п. модели), так и системы управления им. В [4.23] в шуточной форме эта особенность метода нечетких множеств выражена двустихием:

IF THE PRESSURE IS TOO LOW
I INCREASE THE FUEL FLOW

(Если давление слишком низкое, я увеличу поток топлива).

Нечеткая логика, как следует из названия, предполагает неточные, приблизительные, примерные оценки. Она предполагает, что ситуации оцениваются приблизительно, а не точно. Необходимость такого подхода вызвана тем, что:

- в некоторых ситуациях невозможно или не нужно точное определение параметров;
- по мере роста сложности систем постепенно падает наша способность делать точные и в то же время значащие утверждения относительно ее поведения, пока не будет достигнут порог, за которым точность и значимость становятся почти взаимоисключающими характеристиками.

Одним из краеугольных камней теории нечетких множеств является функция принадлежности к некоторому множеству $\mu_A(u_i)$. Ее основная особенность заключается в том, что она характеризует субъективное представление руководителя о характере какого-либо процесса или свойствах некоторого объекта. При этом предполагается, что у другого руководителя функция $\mu_A(u_i)$ может быть совершенно другая.

Значение функции принадлежности $\mu_A(u_i)$ определяется экспертом или руководителем. У каждого специалиста эта функция может иметь различный вид. Один человек может считать, что высокий рост начинается с 1.6 м, а другой считает, что сейчас время акселератов и поэтому, высокий рост начинается с 1.7 м. И сам вид функции $\mu_A(u_i)$, описывающей один и тот же объект разные люди могут формировать по-разному. Один считает, что для данного объекта она симметрична и имеет вид равнобедренного треугольника, другой, что это равнобедренная трапеция, а третий – что она имеет вид фигуры неправильной формы. В этом принципиальное отличие функции $\mu_A(u_i)$ от функции распределения в теории вероятностей. Сотнями

экспериментов установлено, что рассеивание снарядов артиллерийских орудий подчиняется закону распределения Гаусса. И ни один специалист не имеет права считать, что оно подчиняется какому-нибудь другому закону распределения, например Пуассона. Если он так считает, он должен это доказать. Т.е. функция $\mu_A(u_i)$ – это функция, определяющая субъективное мнение специалиста, а, скажем, функция распределения случайной величины или закон Байеса – это выражение объективной закономерности, независимой от отношения специалиста к этой закономерности.

Конечно, привлекательней всего использовать объективные закономерности, если они известны. Если эксперт или руководитель их не знает, ему ничего не остается, как опираться на свои знания и опыт, формулировать в явном или неявном виде свои субъективные предпочтения. Одним из способов выражения таких предпочтений есть формирование функции $\mu_A(u_i)$.

С. Модели, использующие многокритериальные функции предпочтения руководителя

Теперь рассмотрим модель многокритериальной функции предпочтения, построенную с использованием базовых шкал. Функция предпочтения обычно имеет вид отображения множества альтернатив в числовую ось. Иными словами, каждой альтернативе эта функция ставит в соответствие число (оценку альтернативы), причем так, что эквивалентным альтернативам соответствуют одинаковые числа (значения функции предпочтения), а из каждых двух не эквивалентных альтернатив лучшей приписывается большее число.

В настоящее время предложено много подходов многокритериальной оценки решений (сценариев, объектов), основанных на субъективных оценках руководителя или эксперта. В большинстве случаев они сводятся к линейной или нелинейной свертке, позволяющей поставить в соответствие каждому элементу множества оценивающего его число. Модель оценки с помощью функций предпочтения руководителя является также сверткой.

Через π обозначим значение функции предпочтения, построенной на базовой шкале. Базовой шкалой называется шкала, ставящая в соответствие параметру или интервалу физических параметров субъективную критериальную оценку руководителя или эксперта.

Объединяя все m базовых шкал в одно пространство, получаем m -мерное базовое пространство. Таким образом, все пространство параметров R^m отображается на пространство субъективных критериев той же размерности. При этом пространство субъективных критериев разбивается лингвистическими переменными на линейные подпространства. Каждая точка базового пространства определяется двумя связанными между собой векторами координат: координатами пространства параметров и координатами пространства критериев. Они связаны между собой через базовые шкалы.

Объединяя базовые шкалы в виде прямого декартова произведения, получаем m -мерное базовое пространство. Например, применительно к комплексной оценке эффективности методов воздействия на пласт, основываясь на данных таблицы 4.3-в можно ввести следующие три базовые шкалы, рис. 4.1.

Себестоимость дополнительной добычи 1 м³ нефти

50	75	76	100	101	150	151	200	Долл. США
нет		умеренная		высокая		оч. высокая		Лингв. переменные
5		4		3		2		Баллы

Удельные капитальные затраты на м³/сут.

50	70	90	110	130	140	150	190	210	220	Тыс. долл. США
не-значит.		умеренные		приемлемые		высокий		очень высокие		Лингв. Переменные
5		4		3		2		1		Баллы

Прирост нефтеотдачи

0 - 4	4.1 - 8	8.1 - 12	12.1 - 16	16.1 - 20	20.1 - 24	24.1 - 28	28.1 - 32	32.1 - 36	36.1 - 40	%
нет	малый	умеренный	хороший	значительный	оч. значит.	высокий	оч. выс.	оч. выс.	блестящий	Лингв. переменные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Баллы

Рис. 4.1

Объединяя эти три базовые шкалы получим трехмерное базовое пространство – (себестоимость 1м) × (удельные капитальные затраты) × (прирост нефтеотдачи), рис. 4.2.

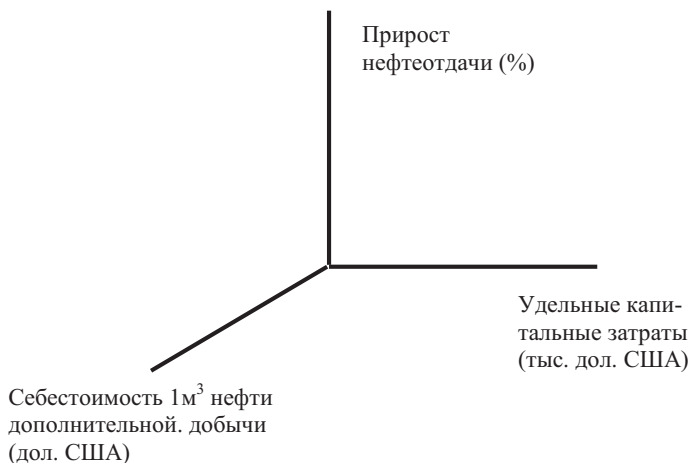


Рис. 4.2

Для того чтобы оценить и проранжировать эффективность принимаемых решений с помощью функции предпочтения, необходимо учитывать значимость (важность) критериев. Учитывая это требование, значение функции предпочтения руководителя для варианта решения A может быть определено из соотношения:

$$\pi_A = K_1\pi_{1,A} \oplus K_2\pi_{2,A} \oplus \dots \oplus K_m\pi_{n,A},$$

где K_i – оценка степени важности (значимости, «веса») i -го критерия, $\pi_{j,A}$ – критериальная оценка значения i -го физического параметра варианта решения A , \oplus обозначает знак операции.

Если значения функций предпочтения руководителя по i -му и j -ому критериям является суммой функций предпочтения по каждому критерию, то знак \oplus означает сложение.

Известно, например, что при выбросах газы CO и NO_2 взаимно усиливают токсичные действия в несколько раз. В этом случае общая токсичность (своеобразная функция предпочтения) мультипликативна и является произведением π_i и π_j с соответствующими коэффициентами.

Аналогичны рассуждения для разности и частного π_i и π_j при определении соответствующей функции предпочтения.

Однако для разных лингвистических переменных (в разных линейных подпространствах) «веса» критериев могут меняться с учетом важности (значимости) приоритетов. В этом случае значение функции предпочтения руководителя в базовом пространстве может быть определено из соотношения:

$$\pi_A = K_{1,k} \pi_{k,A} \oplus K_{2,j} \pi_{j,A} \oplus \dots \oplus K_{m,n} \pi_{n,A},$$

где K_{ij} , $i = \overline{1, M}$ - оценка степени важности (значимости, «веса») i -го критерия для j -ой лингвистической переменной (она может быть некоторой функцией $\pi_{j,A}$). Число лингвистических переменных по каждому критерию (их балльность) у каждого критерия может быть свое.

Последнее соотношение позволяет произвести нелинейную, более точную, аппроксимацию функции предпочтения эксперта или руководителя, но требует от него больше информации.

В тех случаях, когда предполагается, что $K_i = const$, т.е. зависит от лингвистических переменных каждого критерия, «веса» линейных подпространств базового пространства могут быть вычислены заранее и ранжированы. В этом случае точка в пространстве критериев K^m , характеризующая данное решение, определяется ее параметрами и принадлежностью к определенному подпространству. Поскольку подпространство ранжировано, то ранжированы и попавшие в них точки. Таким образом, пространство параметров и пространство критериев оказались связанными (отраженными друг в друге).

При использовании многокритериальной функции предпочтения руководитель или эксперт должен обладать необходимым опытом и знаниями, уметь осуществлять критериальный анализ ситуации, по возможности прогнозировать динамику событий, уметь строить базовые шкалы, выбирать критерии и оценивать их важность, а также строить функцию предпочтения.

D. Условия и области применения моделей

Какая математическая модель и какой математический аппарат лучше при компьютерной поддержке принятия решений? Об этом идут дискуссии между специалистами, «исповедующими» те или иные математические модели и методы. Однако использование раз-

личных методов и алгоритмов для решения одного класса задач в математике давно и хорошо известное явление. Конкретный метод выбирается в зависимости от характера данных и особенностей задачи. В табл. 4.7 указаны условия и области применения различных моделей, в том числе и не рассматривавшихся ранее.

Неопределенность при выборе математических моделей далеко не так велика, как это кажется на первый взгляд. Как показывает опыт, эксперт или руководитель в значительной степени ограничен в свободе выбора математической модели и аппарата ее описания. Эти ограничения связаны, как это ни странно, не столько с физикой явления и возникающими из нее требованиями, сколько со знаниями, опытом и пристрастиями эксперта или руководителя.

Это приводит, как правило, к хорошему знанию экспертом избранных математических методов и накоплению опыта в применении избранного математического аппарата. Поэтому, изучая вновь возникшую проблему, добросовестный эксперт либо видит возможность ее решения хорошо известным ему методом, либо отказывается от ее решения или ищет адекватную математическую модель.

Таблица 4.7

Наименование модели	Условия применения	Области применения
Субъективные вероятности (Байесовский анализ)	Достаточный объем надежной информации, которая может быть обработана статистическими методами. Исследуемый процесс должен быть стационарен и описываться формулой Байеса.	Оценка надежности оборудования, оценка потребности в различных материалах, комплектующих процессов добычи и транспорта нефти и газа
Нечеткие множества	Алгоритмы управления несложны и могут быть описаны простыми правилами, точное определение параметров не нужно или невозможно. Аналитическое описание системы не требуется, достаточно описания того, как процессом управляет опытный оператор.	Системы оперативного управления процессами добычи, транспорта и переработки нефти и газа; организация геофизических исследований скважин
Многокритериальные функции предпочтения	ЛПР или эксперт обладает необходимым опытом и знаниями, способен осуществить критериальный анализ ситуации, прогнозировать динамику событий, оценить важность используемых критериев, дать критериальную оценку значениям физических параметров и построить функцию предпочтения	Автоматизация проектирования, экономический анализ, управление производством в добыче, транспорте и переработке нефти и газа; организация геофизических исследований скважин

Нейронные сети	Умение построить общую функцию, описывающую процесс управления или распознавания, представить ее множеством более простых функций и расположить эти простые функции в иерархической сети нейронов	Экономический анализ, геологоразведка, управление технологическими объектами
Системы алгебраических и дифференциальных уравнений, системы массового обслуживания и др. традиционные методы моделирования оптимизации	Умение и возможность сформулировать задачу в строгой математической постановке	Все основные и обслуживающие процессы нефтегазового производства, его экономический анализ и управление

Глава 5

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУБЪЕКТИВНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЕЙ

5.1. Формализация и интуиция

Применение компьютерных технологий в управлении помимо чисто технических и процедурных сложностей порождает и психологический барьер. Он вызван тем, что сегодня специалист плохо формализует семантику (смысл) принимаемых решений, но легко и успешно их генерирует и воспринимает на интуитивном уровне. Компьютер, наоборот, не обладает интуицией, он воспринимает и генерирует только формализованные понятия. Под формализацией обычно понимается отображение содержательного знания в знаковую форму или формализованный язык, а под интуицией – непосредственное постижение истины без предварительного логического рассуждения. Поэтому в диалоге компьютера и специалиста последнему приходится переходить от интуитивных представлений к формальным и от формальных к интуитивным, переводя интуитивные понятия на формальный язык, «понятный» компьютеру, и формализованные компьютерные данные – в интуитивно ясные специалисту представления. Таким образом, возникает взаимосвязь формализованных и интуитивных понятий.

А. Формализация

Под формализацией понятия, представления, рассуждения и т.п. (от латинского forma – вид, образ) понимается отображение содержательного знания в точные понятия и утверждения, представленные в знаковой форме или формальном языке и абстрагированные от их конкретного содержания. В процессе формализации обычно исполь-

зуют математические методы, то есть методы науки о количественных отношениях и пространственных формах, отвлеченных от их конкретного содержания. Математика разработала и применила конкретные средства отвлечения формы от содержания и сформулировала правила рассмотрения формы как самостоятельного объекта в виде чисел, множеств и т.д. Формализация, то есть отвлечение от их содержания, с одной стороны, обеспечивает систематизацию знаний, а с другой – позволяет вводить формализованную информацию в компьютерные системы [5.1].

Необходимым шагом при использовании любого математического метода является априорное формирование представлений об элементах предполагаемого для использования формализма. Такими хорошо известными формализмами являются, например, аксиомы Евклида в геометрии. Результаты рассуждений, представлений и выводов специалиста сильно зависят от выбранного набора аксиом. Так набор аксиом Евклида отличается от набора аксиом Лобачевского только одной аксиомой. Пятый постулат Евклида гласит, что параллельные линии в бесконечности не пересекаются, а соответствующая ему аксиома Лобачевского утверждает обратное: параллельные линии пересекаются в бесконечности. В результате одна из основополагающих теорем геометрии по Евклиду утверждает, что сумма углов треугольника не зависит от длины его сторон, а по Лобачевскому – вывод прямо противоположный: зависит. Кто прав – Лобачевский или Евклид – до сих пор неизвестно.

Формализованная теория во многих случаях беднее соответствующих ей содержательных представлений об объекте или процессе. Используя те или иные методы формализации, специалист выигрывает в точности постановки задач и оценок результатов, но достигает этого за счет сознательного отвлечения от свойств многих сторон анализируемого объекта или процесса. То есть, углубление знаний о некоторых свойствах исследуемого объекта или процесса производится за счет отказа от анализа и учета других свойств.

При формализации изучаемым объектам или процессам, их свойствам и отношениям ставятся в соответствие некоторые устойчивые, хорошо обозримые и отождествимые материальные элементы, конструкции и т.п., дающие возможность выявить и зафиксировать существенные стороны этих объектов и процессов. Естественно,

процесс формализации может осуществляться с разной степенью полноты.

Формализация включает в себя три момента:

- обозначение всех исходных неопределяемых терминов (понятий);
- перечисление принимаемых без доказательств постулатов (аксиом);
- введение правил преобразования (действий) как над исходными понятиями, так и над структурами, полученными из них.

Практика показывает, что необходимым условием управляемости сколько-нибудь сложной и развитой организации является существование формализованной технологии ее управления, то есть некоторого последовательного и непротиворечивого представления о правилах генерации, коррекции и оценке процессов, происходящих внутри организации и объектов ею используемых или создаваемых. То есть деятельность современной организации интерпретируется в виде набора четко сформулированных (формализованных) операций, направленных на достижение строго определенной (формализованной) цели и некоторой стартовой (тоже формализованной) ситуации.

Формализация часто противопоставляется интуитивному мышлению.

В. Интуиция

Философы определяют интуицию как непосредственное, без основания доказательства постижение, усмотрение (от латинского *intueri* – пристально смотреть) истины. Интуитивный творческий акт предполагает сжатие во времени, свертывание и переход в подсознание некоторых алгоритмов анализа и принятия решения. Это специфическая человеческая способность, которая считается производной от сознания.

Специалисты разных областей все чаще называют важнейшим качеством руководителя и специалиста – наличие интуиции, не хорошее образование, энциклопедические знания и опыт, а именно интуицию. Это связано с одной стороны с чрезвычайной динамичностью экономических, социальных и политических процессов, в ходе которых приходится принимать решения, а с другой стороны – в океане практически непрерывно пополняющейся информации, кото-

рую необходимо анализировать для принятия решения. В этих условиях важная роль может принадлежать подсказке, предложению, которые сформулирует компьютерная система, высвечивая на дисплее или распечатывая список решений, генерированных по заложенным в нее алгоритмам, принятым в аналогичных ситуациях, а также варианты решений, которые отвергались, раньше. Представление СППР результатов обработки полученной информации в удобной для восприятия форме в виде графиков, таблиц, диаграмм и т.п. также оказывает существенную помощь руководителю в процессе принятия решений на интуитивном уровне.

Компьютерные системы поддержки принятия решений помогают руководителю и специалисту принять интуитивное решение как в условиях, когда времени на его обдумывание и обсуждение нет, так и при реализации формализованных методов, базирующихся на глубоком анализе сложившейся обстановки и вариантах возможных решений.

5.2. Функции определения и использования субъективных предпочтений руководителей

В настоящее время управляющие системы принятия решений и системы поддержки принятия решений используются на самых различных уровнях управления от «ситуационных комнат» президентов стран и крупных компаний до кабин боевых самолетов и пунктов управления системами ПВО.

Как уже отмечалось выше, одна из важнейших функций СППР заключается в выявлении предпочтений руководителя, т.е. в определении приоритетов ранжирования, учете неопределенности в оценках руководителя и реализации его предпочтений при анализе обстановки и принятии решений. Эти функции показаны на рис. 5.1. (см. также рис. 3.2)

Конечно, вербальная формулировка функций может быть изменена, они могут быть по-другому сгруппированы, но их содержательное значение, как показывает анализ СППР, используемых в различных областях деятельности, остается стабильным.

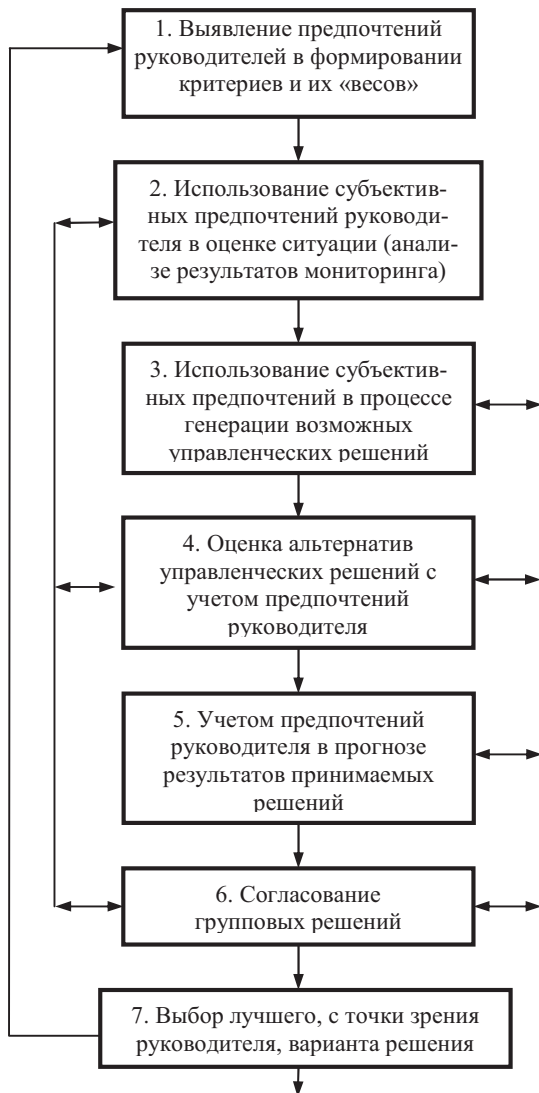


Рис. 5.1

Для проверки этого утверждения инвариантность списка функций относительно приложений исследовалась при разработке систем поддержки принятия управленческих решений по ликвидации последствий радиационных воздействий и аварий на химических предприятиях, анализе методов компьютерной поддержки управления в нефтегазовой промышленности, в системах автоматизации проектирования сложных технических объектов и в системах поиска, анализа и представления информации [5.2 – 5.6]. Поэтому в качестве рабочей гипотезы можно считать, что для достаточно широкого множества применений СППР перечисленные функции являются типичными.

Будем считать, что каждая функция выполняется соответствующим логическим модулем. Между логическим и реализующим его программным модулем обычно однозначного соответствия не ставится. Логический модуль может быть реализован несколькими программными модулями. Один программный модуль может объединять несколько логических. Взаимосвязь логических модулей СППР и, соответственно, реализующих их программных модулей, показана на рис. 5.1.

Из него видно, что в процессе работы модули СППР тесно взаимодействуют друг с другом. Заметим, что предложения СППР могут не удовлетворять руководителя. Тогда цикл повторяется. На рис. 5.1 не показаны операционная система, базы данных, редакторы и другие программы, без которых невозможен никакой современный программный комплекс. Их работа не рассматривается, так как в этой главе нас интересуют только логические модули, реализующие функции СППР. Отметим, что реализация функций – выбор методов, алгоритмов, интерфейсов и т.д. – сильно зависит как от области приложений, так и от субъективных предпочтений руководителей организаций и разработчиков систем. Особенно чувствительны к приложениям интерфейсы, а к субъективным предпочтениям руководителей – методы и алгоритмы.

Еще раз повторим, что хотя мы и говорим о компьютерной поддержке принятия управленческих решений, т.е. об использовании формальных оценок и расчетов, роль личных качеств руководителя (эксперта) – его интеллект, субъективные оценки, эрудиция, умение находить решение и т.п. – не уменьшается, а может быть, даже возрастает. Компьютерные системы поддержки управленческих реше-

ний вводят новую составляющую в искусство принятия решений: искусство использования средств вычислительной техники, которое должно сочетать оценки и решения, полученные уже устоявшимися (или вновь разработанными) математическими методами, с субъективными оценками, сделанными на основе знаний, опыта и интуиции руководителя. Это связано с тем, что на решение руководителя сильнейшее влияние оказывают его субъективные предпочтения и интересы, поэтому в предложенных компьютером вариантах решений руководитель должен видеть их тщательный учет, а не «абстрактное оптимальное» предложение, далекое от его интересов.

Для того чтобы руководитель смог проявить свое искусство использования компьютерных СППР в принятии управленческих решений, в них должны быть включены специальные программные и аппаратные средства, позволяющие реализовывать методы выявления, адаптации и выполнения субъективных предпочтений руководителей. Поэтому прежде чем подробно обсуждать алгоритмы СППР, рассмотрим сначала примеры методов определения и использования субъективных предпочтений руководителя.

5.3. Компьютерные методы выявления субъективных предпочтений руководителей в формировании набора критериев и их «весов»

В гл. 4 уже рассмотрены роль и значение критериев и их «весов» как средства формального определения субъективных предпочтений руководителя, поэтому компьютерная система поддержки принятия решений должна помочь руководителю:

- сформировать список оцениваемых параметров;
- сформировать список критериев, по которым будет оцениваться каждый параметр;
- определить «вес» (значимость) каждого критерия по данному параметру.

Сформированные параметры и критерии их оценки окажут в последующем процессе управления серьезное влияние на результаты анализа ситуации и ранжирования сгенерированных управленческих решений, реализуя предпочтения руководителя при генерации и выборе лучшего варианта.

А. Формирование списков параметров и критериев

Списки оцениваемых параметров достаточно стабильны и хранятся обычно в базе данных СППР. Любой руководитель может добавить или вычеркнуть те или иные параметры. Аналогично обстоит дело и со списками критериев оценок параметров. Свои субъективные оценки в процессе анализа может дать и аналитик информационной фирмы.

На рис. 5.2 [5.7] показан пример интерфейса, позволяющий руководителю или эксперту просмотреть список параметров оценки нефтеперерабатывающего завода и внести в список необходимые, с его точки зрения, коррективы.



Рис. 5.2

Рис. 5.3 [5.7] иллюстрирует интерфейс, позволяющий сформулировать правила оценки параметров по заданным критериям и внести в эти правила необходимые, с его точки зрения, коррективы.

Согласование списков параметров и критериев, предложенных руководителями и экспертами, осуществляется модулем 6 СППР рис. 5.1. Оно может быть произведено разными методами, например, го-

лосованием. СППР оставляет в списке только те параметры и критерии, которые оказались в списках всех руководителей (или большинства руководителей). Порог определяется высшим руководством, например, генеральным директором.

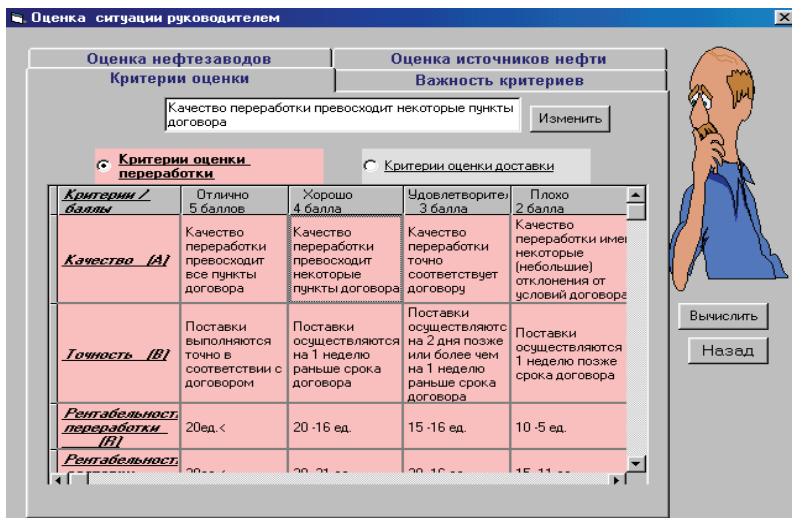


Рис. 5.3

В. Оценка и согласование значимости критериев

На рис. 5.4 [5.3] показан пример интерфейса для реализации интерактивной процедуры оценки значимости критериев, производимой каждым экспертом при оценке эффективности возможных сценариев применения контрмер по ликвидации последствий заражения территории. СППР определяет «вес» x_{ij} каждого i -го критерия, данного j -м руководителем по заложенному в систему алгоритму.

При составлении этих списков и определении «весов» СППР должны быть учтены предложения каждого руководителя и эксперта, и в случае расхождения точек зрения, предложения должны быть согласованы. Согласование «весов» критериев осуществляется модулем 6 СППР, например, по следующему простому алгоритму [5.8] простому, но хорошо иллюстрирующему сущность процедуры согласования.

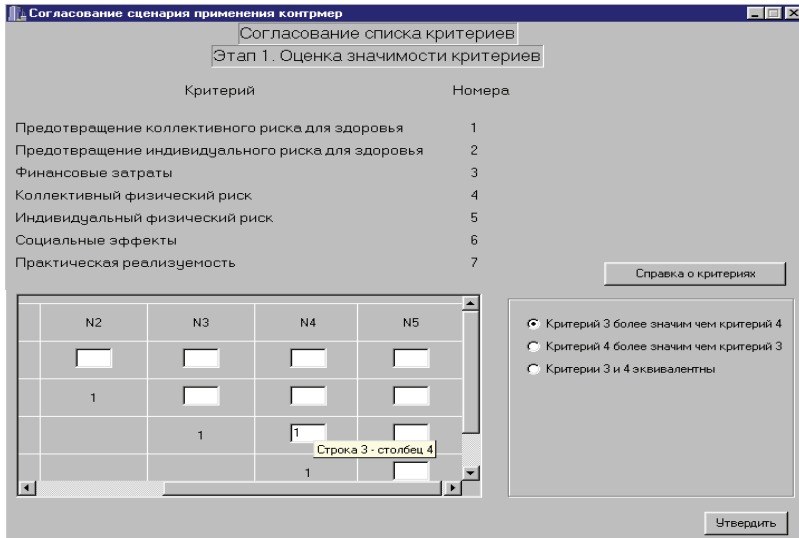


Рис. 5.4

Система определяет по каждому критерию:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum x_{ij}}{N}$$

– среднее значение оценки по критерию с номером j ;

$$D_j = \frac{1}{N-1} \sum_i (\bar{x}_j - x_{ij})^2$$

– дисперсию оценки по критерию с номером j ;

$$P_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\bar{x}_j}$$

– профиль i -го эксперта по j -ому критерию.

Затем вычисляются скорректированные средние оценки x_j^* по правилам.

- Если дисперсия не велика – находится среднее значение, и оно предлагается участникам для согласования.

- Если дисперсия большая, то анализируются профили участников согласования.
- Если профиль участника «+» и его значение невелико, т.е. оценка участника выше среднего – ее значение уменьшается на 1 балла.
- Если профиль участника «+» и его значение велико, т.е. оценка участника значительно выше среднего – ее значение уменьшается на 2 балла.
- Если профиль участника «-» и его значение невелико, т.е. оценка участника ниже среднего - ее значение увеличивается на 1 балл.
- Если профиль участника «-» и его значение велико, т.е. оценка участника ниже среднего – ее значение увеличивается на два балла.

Понятие «большой» и «малой дисперсии» определяется при помощи порогового значения D_{max} , которое устанавливается заранее и может пересматриваться.

Таким образом, модуль 1 выявляет с помощью модуля 6 СППР и согласовывает предпочтения руководителей, которые будут использоваться при оценках ситуаций и вариантов управленческих решений.

С. Формирование набора критериев и их «весов»

Определение критериев оценки - важный момент. Первое желание руководителя – указать как можно больше критериев, пытаясь связать каждый признак с самостоятельным критерием. Увеличение числа критериев, как будто, должно повышать точность решения задачи, так как учитывается большее число факторов. С другой стороны, – если эти факторы учитываются неверно, то увеличивается величина ошибки.

Один из подходов решения этой задачи [5.2] состоит в том, что для ранжирования вариантов решений и выбора критериев в пространстве критериев вводятся два подпространства S и D . Напомним (см. раздел 4.3. С), что, как и пространство критериев, подпространства S и D являются подмножествами m -мерного Евклидова подпространства (m – число критериев) $S \in R^m$, $D \in R^m$. S – это подпро-

странство, в котором желательно иметь значения критериев, характеризующие объект, после выполнения решения (сценария, выполнения управляющего воздействия). В тех случаях, когда желательное состояние задается координатами, а не интервалами, подмножество S может состоять из одной точки S_0 . D – это подмножество точек, определяющее по оценкам руководителя текущее состояние объекта, относительно которого принимается решение.

Значения j -го критерия и связь этого значения с физическими параметрами для подмножеств S и D может быть выражена с помощью базовых шкал или таблиц.

Значимость, важность j -го критерия (его «вес») - k_j определяется некоторой функцией от значений j -го критерия в областях D и S . Значения j -го критерия K_j с учетом значений K_j^D и K_j^S в областях D и S определяется функцией:

$$K_j = \gamma_j F_j(K_j^D, K_j^S).$$

Конкретный вид функции F_j может быть разность K_j^S и K_j^D , показывающая насколько надо улучшить положение или их частное, показывающее во сколько раз надо улучшить положение. Коэффициент γ_j определяется на основе опыта и знаний руководителя или эксперта (см. ниже).

Последовательность F_i образует ряд убывания важности критериев с точки зрения руководителя и показывает на чем надо сосредоточить влияние. Последовательность K_i значительно отличается от последовательности F_i . Последовательность K_i может быть использована для уменьшения неопределенности при сокращении набора критериев в процессе принятия решений или лучше сказать при выборе целей. Конечно, критерии можно отсекаать различными способами. Один из них - по уровню разделения.

СППР переупорядочивает номера критериев в соответствии с их «весом» K_i и определяется уровень разделения:

$$\alpha(n) = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{\sum_{i=1}^N K_i},$$

где N - число рассматриваемых критериев, а n - максимальный номер критерия в переупорядоченной последовательности, который будет учитываться руководителем при принятии решений.

Для прогнозирования динамики развития событий может быть введено еще одно подпространство $H(t)$ в том же критериальном пространстве R^m . Это подпространство, к которому могут принадлежать значения критериев, характеризующих объект по оценкам руководителя через время t , если на объект не подавать управляющих воздействий. Например, оценку экономического состояния организации по критерию «Прибыль» руководитель или эксперт характеризует следующим образом: в настоящий момент – удовлетворительно, желательное состояние – хорошее, через время t (например, 8 месяцев), если не подавать управляющих воздействий, прибыль может резко упасть. Таким образом, несмотря на относительное благополучие в настоящий момент, необходимо принимать энергичные меры.

Если через $K_j^{H(t)}$ обозначить значение, которое j -ый критерий примет через время t , то K_j станет уже функцией трех переменных:

$$K_j = \gamma_j F(K_j^D, K_j^S, K_j^{H(t)}).$$

Возможны различные конкретные виды этой функции, например, сумма разностей «весов» критериев $K_j^S - K_j^D$ и $K_j^D - K_j^H$ с соответствующими коэффициентами, поскольку чем больше сумма этих разностей, тем больше «вес» критерия:

$$K_j = \gamma_j [\alpha_j (K_j^S - K_j^D) + \beta_j (K_j^D - K_j^{H(t)})],$$

или

$$K_j = \gamma_j \left[\alpha_j \left(\frac{K_j^S}{K_j^D} \right) + \beta_j \left(\frac{K_j^D}{K_j^{H(t)}} \right) \right] J,$$

где α_j и β_j коэффициенты, характеризующие относительную важность разности (частного) K_j^S, K_j^D и $K_j^D, K_j^{H(t)}$.

Разность $K_j^D - K_j^{H(t)}$ показывает насколько ухудшится (или, может быть, улучшится) оценка, если на объект не подавать управляющего воздействия, аналогично частное показывает во сколько раз ухудшится (улучшится) ситуация в этом случае.

Коэффициенты α_j и β_j трудно определить на основе каких-нибудь формальных процедур (исключая, конечно, опрос экспертов). Однако они могут быть определены руководителем в качестве лингвистических переменных (например: « α_j существенно больше β_j » или « α_j эквивалентно β_j ») и т.д., что во многих случаях может быть сделано руководителем, исходя из его субъективных представлений о важности динамической составляющей в оценке критериев. При этом надо отметить, что оценка динамической составляющей сама по себе достаточно сложна, так как она связана с гипотезами о характере развития ситуации. Хорошо известно насколько ненадежны эти гипотезы, особенно в неустойчивых состояниях объектов исследования.

Рассмотрим критерии оценки эффективности разработки месторождений нефти и газа.

В общем случае, оценка финансовой рентабельности проекта осуществляется путем последовательного расчета следующих показателей [5.4]:

- 1) Доход от реализации продукции (продаж), выгоды – В;
- 2) Капитальные вложения (включая ЧОК) – К;
- 3) Эксплуатационные затраты – З, включая амортизационные отчисления – АО;
- 4) Прибыль $\Pi = В - З$;
- 5) Налоговые выплаты, включая налог на прибыль – НВ;
- 6) Чистая прибыль $\text{ЧП} = \Pi - \text{НВ}$;
- 7) Поток реальных денег (cash flow) - $\text{ДП} = \text{ЧП} + \text{АО} - \text{К}$;
- 8) Чистая текущая стоимость – ЧТС (NPV);
- 9) Внутренняя норма рентабельности – ВНР (IRR);
- 10) Срок окупаемости (возмещения) капитала – $T_{\text{ок}}$;
- 11) Индекс доходности – ИД;
- 12) Коэффициент «выгоды/затраты».

Следует отметить, что расчет критериев оценки эффективности проекта может проводиться в безналоговом и налоговом режиме. Если налоги учитываются, то их включают в затратную часть.

Изложенное устанавливает еще и тот факт, что, даже только, анализ финансовой рентабельности проекта является многокритериальной задачей, а выбор метода оценки зависит от субъективных представлений руководителей и экспертов. Если же ориентироваться

на определение полной (комплексной) эффективности проекта, то, например, для анализа проектов разработки нефтяных месторождений необходимо учитывать следующие группы показателей [5.4]:

Технологические показатели вариантов разработки месторождений:

- объем добычи нефти;
- объем закачки воды;
- фонд добывающих и нагнетательных скважин.

Экономические показатели:

- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма рентабельности;
- индекс доходности;
- срок окупаемости;
- капитальные вложения;
- эксплуатационные затраты;
- доход государства.

Риски:

- оправданность выбора технических решений (систем (вариантов) разработки);
- надежность контроля за выработкой запасов;
- экономический риск.

Охрана окружающей среды и недр:

- загрязнение воздуха и воды;
- сохранность флоры и фауны;
- шум.

Кроме того, естественным образом, каждый из рассмотренных показателей (критериев) связан технологическими характеристиками того или иного рассматриваемого технологического процесса.

Так, значения рассмотренных критериев эффективности освоения месторождений нефти и газа определяются количеством скважин, длиной магистральных дорог, коллекторов, шлейфов, количеством установок комплексной подготовки (УКПР), годовым объемом добытого газа (нефти), установленная мощность компрессорных станций (КС) и т.п. При мониторинге оборудования компрессорных станций, в части комплексной оценки оптимального состояния газоперекачивающих агрегатов (ГПА), оцениваются капитальные вложений в строительство КС,

расход энергии (топливного газа) на транспорт газа, затраты на ремонт и обслуживание оборудования КС, ущерба, возникающий в результате неподачи газа потребителям, изменения основных технических факторов во времени в течение срока службы ГПА и др.

В итоге СППР для примера оценки эффективности разработки месторождений нефти и газа на основании мнений эксперта формирует таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Критерии	K_j^D	K_j^S	$K_j^D - K_j^S$	γ_i в %	γ_i ($K_j^S - K_j^D$)	Место K_j
1. Объем добытой нефти	2	7	5	15	75	I
2. Объем закачки воды	1	5	4	7	28	IV-V
3. Фонд добывающих скважин	4	6	2	5	10	XV
4. Чистый дисконтированный доход	1	9	8	8	64	II
5. Внутренняя норма рентабельности	3	8	5	5	25	VI-X
6. Индекс доходности	3	6	3	4	12	XIV
7. Срок окупаемости	5	9	4	7	28	IV-V
8. Капитальные вложения	3	6	3	5	15	XIII
9. Эксплуатационные затраты	2	7	5	5	25	VI-X
10. Доход государства	3	7	4	5	20	XI
11. Оправданность выбора технических решений	3	8	5	5	25	VI-X
12. Надежность контроля за выработкой запасов	5	8	3	6	18	XII
13. Экономический риск	4	9	5	6	30	III
14. Загрязнение воздуха и воды	2	7	5	5	25	VI-X
15. Сохранность флоры и фауны	2	7	5	5	25	VI-X
16. Шум	2	5	3	2	6	XVI

В табл. 5.1 выделены заливкой 10 из всех рассматриваемых 16 критериев. Их «вес» составляет 81% от суммы «весов» всех критериев. Руководитель может принять решение о выборе этих критериев в качестве основных для оценки эффективности вариантов разработки месторождений. Однако он может руководствоваться и другими соображениями, например принципом Парето 20/80, тогда число критериев сократится до двух. Это будут критерии, занявшие первые

два места. Во всяком случае, выбор уровня разделения всегда зависит от руководителя, от его опыта и интуиции.

При выборе критериев важен не только вопрос выбора их перечня и определения их относительной важности γ_i , но и вопрос выбора вида критериев и их возможного взаимодействия при принятии решений. В этом плане СППР также предлагает возможные варианты, которые могут, например, быть комплексной оценкой эффективности инвестиционных проектов.

5.4. Использование СППР субъективных предпочтений руководителя в анализе результатов мониторинга

На основе данных мониторинга модуль 2 СППР представляет руководителю или эксперту оценки сложившейся ситуации. Методы оценки ситуации зависят от приложений и субъективных предпочтений руководителя и эксперта. Их учет и использование обеспечивается специально разработанными интерфейсами и алгоритмами.

На рис. 5.5 [5.7] показан интерфейс оценки состояния нефтеперерабатывающих заводов, определенных СППР по заложенным в систему алгоритмам, учитывающим субъективные оценки аналитиков.

Оценка ситуации руководителем

Критерии оценки	Важность критериев				
Оценка нефтезаводов	Оценка источников нефти				
Критерии доставки нефти					
Источник_1	НПЗ_2				
Баллы	Характеристика				
<input checked="" type="radio"/> Качество: отлично	Качество поставок превосходит все пункты договора				
<input type="radio"/> Точность: Баллы	Характеристика				
<input type="radio"/> Рентабельность: Баллы	Характеристика				
Нефтезаводы / Источники	НПЗ_1	НПЗ_2	НПЗ_3	НПЗ_4	НПЗ_5
Источник_1		отлично			
Источник_2					
Источник_3					

Вычислить

Назад




Рис. 5.5

Одной из важнейших задач модуля 2 СППР является оценка эффективности выполнения стратегии, а в некоторых случаях даже и цели. Оценка эффекта может определяться функцией полезности, методами распознавания образов или каким-нибудь другим методом. Важно, чтобы СППР определила момент необходимости перехода от оперативных воздействий к стратегическим решениям.

На рис. 5.6 [5.5] приведен пример интерфейса реализации плана эвакуации населения при аварии на химическом заводе. Это пример достаточно сложного интерфейса. На нем показаны значения параметров (объективные данные), а с помощью кнопок может быть получен прогноз химической обстановки, оценка реализации плана эвакуации, состояния транспортных средств и т.д. Прогноз и оценки даются с учетом субъективных представлений экспертов. Эти представления и оценки определяются СППР по заложенным в нее алгоритмам с использованием значений и «весов» критериев, определенных модулем 1 СППР.

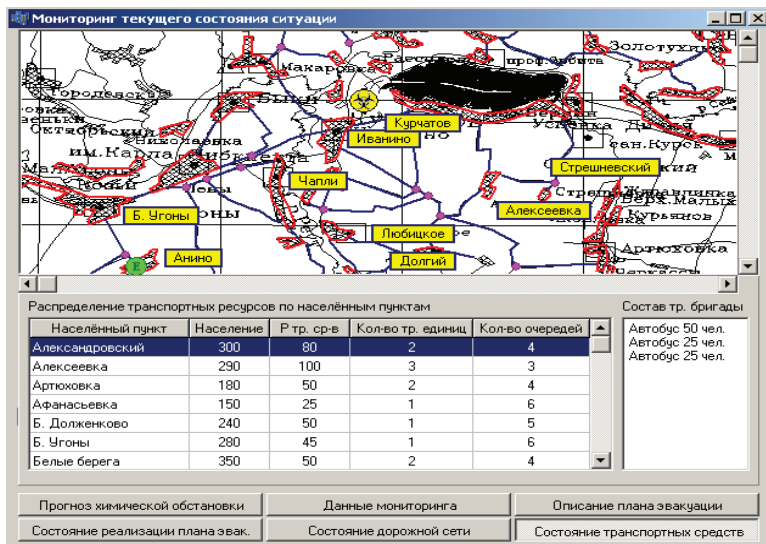


Рис. 5.6

5.5. Использование СППР субъективных предпочтений руководителя в процессе генерации возможных управленческих решений

Модуль 3 СППР – один из наиболее сложных по своей структуре модулей, даже если он проектируется для одного приложения. Сложность связана с тем, что необходимо сгенерировать цели функционирования организации, стратегии реализации поставленных целей и набор оперативных воздействий (сценарии) выполнения стратегий в процессе проектирования ее будущей деятельности.

В случае несоответствия цели, стратегии или набора оперативных воздействий сложившейся обстановке, которая может быть выявлена модулем 2 СППР, в динамике функционирования организации, она должна сгенерировать необходимые корректировки.

А. Формирование списка целей в процессе планирования будущей деятельности организации

Диапазон возможных целей чрезвычайно широк. Это хорошо видно из исследования характера целей, которые преследуют фирмы, работающие в различных областях промышленности [5.9, 5.10]. Пример возможного множества целей дан в списке 1.

Список 1:

- прибыль;
- рост объемов производства;
- маркетинг;
- социальная ответственность;
- разработка и исследование;
- качество продукции и услуг;
- забота о персонале;
- эффективность и инновации;
- сохранение ресурсов.

Из списка 1 видно, что набор целей, которые обычно преследуют коммерческие фирмы, достаточно стандартен. Список целей, которые преследуют некоммерческие организации (например, организации МЧС, государственные учебные заведения, органы правопо-

рядка и т.п.), конечно, отличается от списка 1, но для этих организаций он также более или менее стабилен.

Поэтому СППР представляет экспертам стандартный список, в который они могут вписать новые цели и вычеркнуть из него цели, которые они считают неадекватными сложившейся ситуации. Согласование списка целей модулем 6 СППР может быть реализовано так же, как согласование списка параметров и критериев.

После того, как СППР сформировала список целей и согласовала его со всеми руководителями и экспертами, каждая цель должна получить оценку в соответствии с принятыми критериями и их «весами». Приведем очень простой иллюстративный пример алгоритма такой оценки. Список критериев и их «веса» могут быть уже определены и хранятся в базе данных СППР или определяются обращением к модулю 1. В работе [5.11] утверждается, что цели и стратегии чаще всего оцениваются по следующим критериям: 1) сбалансированность бизнеса; 2) синергетика, т.е. усиление (уменьшение) каждого оцениваемого параметра за счет влияния других параметров; 3) специализация в тех областях деятельности, в которых фирма достигла наилучших результатов; 4) выживаемость (обеспеченность фирмы необходимыми средствами).

Обращением к модулю 4 СППР производится оценка каждой цели. Если «веса» критериев для целей не определены, то обращением к модулю 2 СППР производится определение величины y_{ij} – согласованного значения «веса» i -го критерия из перечисленного выше списка по j -ой цели, а затем z_{ij} – взвешенной оценки «веса» i -го критерия по j -ой цели по формуле:

$$z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_i y_{ij}}.$$

Оценку j -ой цели можно определить по соотношению

$$M_j = \sum_i \sum_l z_{ij} c_i^l,$$

где c_i^l – балльная оценка l -го параметра фирмы по i -му критерию.

Параметры (характеристики) указывают эксперты в интерфейсах типа рис. 5.2, а их оценки делаются по согласованным определениям, примеры которых показаны в рис. 5.3. Согласование осуществляется

модулем 6 СППР. Заметим, что в действительности СППР, как правило, используют значительно более сложные алгоритмы оценок целей, в которых учитываются различные аспекты предпочтений руководителей.

В. Формирование списка возможных стратегий и сценариев в процессе планирования

В списке 2 [5.11] приведен набор возможных стратегий, которые считаются типичными для коммерческих фирм.

Список 2:

- освобождение от одного или нескольких видов деятельности;
- занятие одним или несколькими новыми видами деятельности;
- усиление специализации в успешных видах деятельности;
- приобретение фирм, действующих в других областях экономики или рынка;
 - приобретение фирм-поставщиков и/или фирм-посредников;
 - освоение новых технологий;
 - применение освоенных или разработанных технологий в новых областях экономики;
 - приобретение фирм, обладающих новыми для приобретающей компании знаниями и умением (технологиями);
 - приобретение фирм, занимающихся теми же видами деятельности, что и приобретающая их компания.

В отношении списка стратегий можно сказать то же, что и в отношении списка целей. Но списки стратегий содержат обычно больше позиций, чем списки целей. Поэтому возникает задача генерации комбинаций возможных стратегий. Пример интерфейса генерации стратегий ликвидации последствий радиоактивного воздействия показан на рис. 5.7 [5.3]. Значок «*» показывает, что операции в строке и столбце, которые образуют клетку (например, операции А и D), по мнению эксперта, могут выполняться параллельно, значок «/» – последовательно. Таким образом, интерфейс, показанный на рис. 5.7, дает возможность эксперту сформировать свое предложение по стра-

тегиям, которые необходимо реализовать для ликвидации последствий радиоактивного воздействия и последовательности их применения.

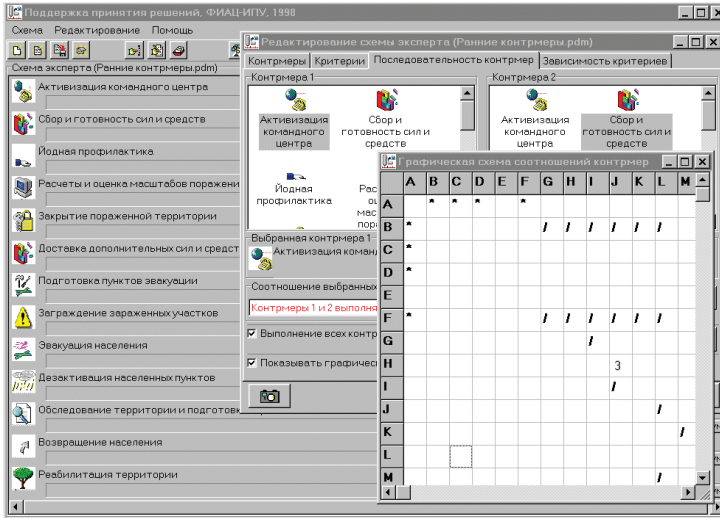


Рис. 5.7

Эксперт проставляет на интерфейсе рис. 5.7 значки, определяющие последовательность операций. СППР показывает экспертам различия в их решениях, после согласования (обращения к модулю 6 СППР), строит граф реализации стратегий (рис. 5.8) и высвечивает его на дисплеях руководства. Алгоритмы построения таких графов даны в [5.2, 5.4]. О генерации сценариев можно сказать то же, что и о генерации стратегий.

С. Генерация целей, стратегий и сценариев в динамике работы организаций

Методы генерации используются те же, что и в процессе планирования, но резко сокращаются сроки формирования вариантов, а оценка вариантов производится с учетом успешности и неудачности предыдущих действий организации и изменений, происшедших внутри фирмы и во внешнем мире.

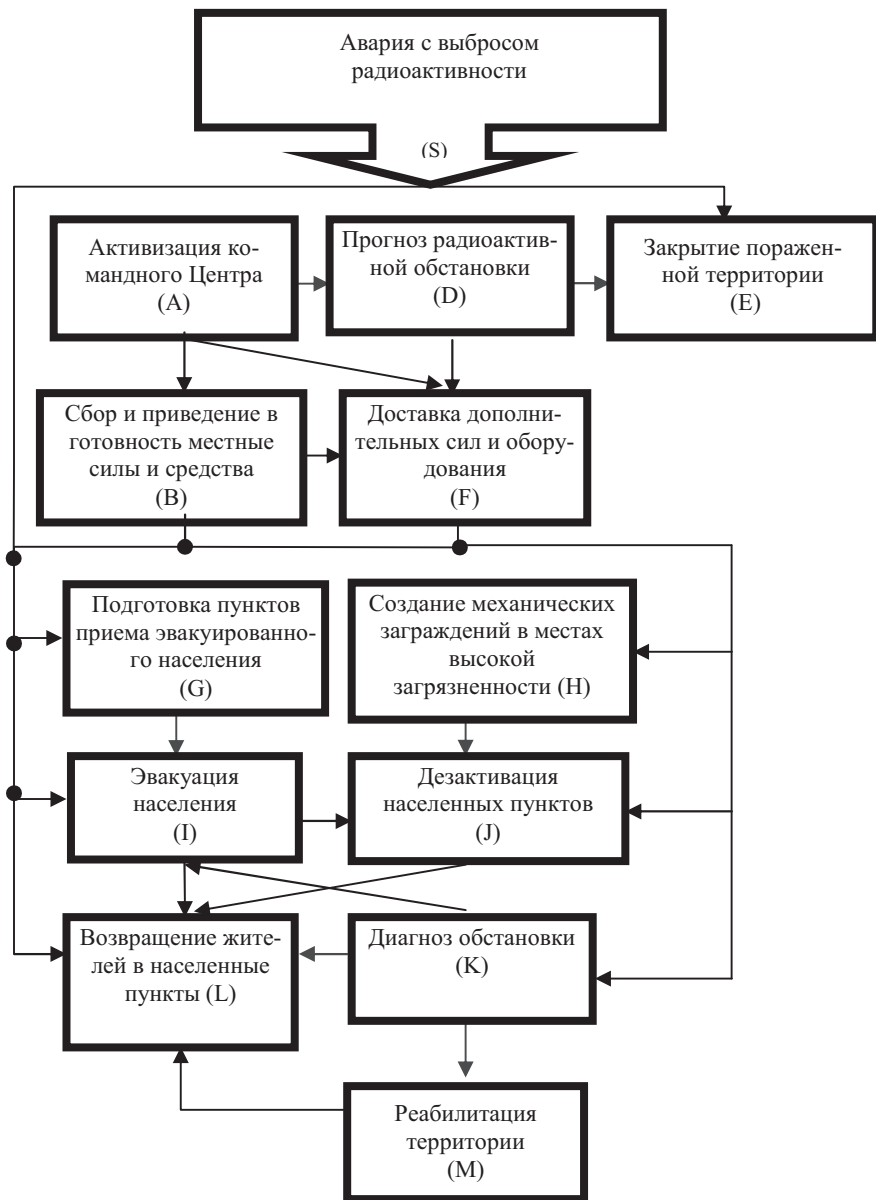


Рис. 5.8

5.6. Компьютерные оценки альтернатив возможных управленческих решений с учетом предпочтений руководителя

В блоке 4 СППР можно указать два подхода к оценке альтернатив (существуют и другие), получивших широкое распространение: использование функции полезности и моделирование.

Пример достаточно сложного интерфейса для оценки функции полезности показан на рис. 5.9 [5.3]. Он позволяет управленцу оценить эффективность мер по ликвидации радиационного воздействия в критериальном пространстве «коллективная доза облучения» – «финансовые затраты».

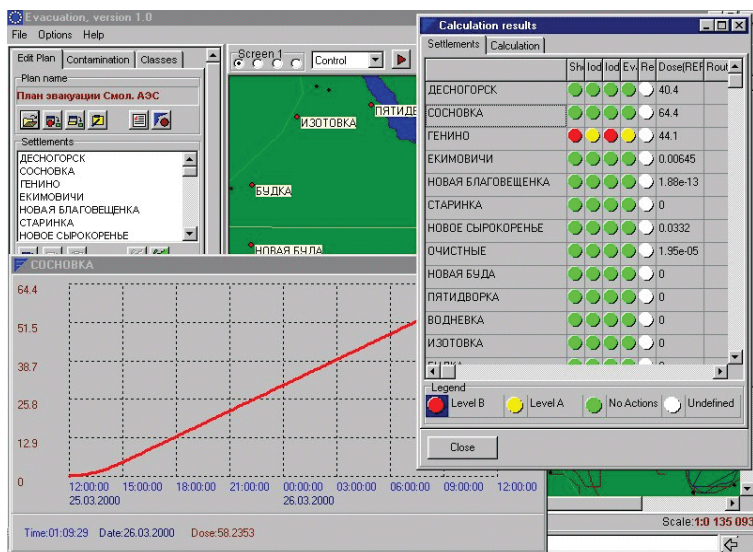


Рис. 5.9

Интерфейс демонстрирует карту местности, и позволяет дать оценку степени загрязнения населенных пунктов, необходимость их эвакуации, получить и оценить графики уровня радиации по каждому населенному пункту и т.д. Методы формирования функций полезности широко освещены в литературе, применительно к СППР. Они подробно рассмотрены, например, в [5.2 – 5.5, 5.11].

Области применения моделей чрезвычайно широки от моделирования переноса радиоактивных веществ [5.3], моделирования механизмов управления [5.12] до моделирования закономерностей в природе и обществе [5.13] и т.д. В работе [5.12] показаны модели механизмов управления. Возьмем в качестве примера модель механизма с нормативом рентабельности.

Для оценки и сравнительного финансово-экономического анализа, например месторождений, подземных хранилищ газа, компрессорных, насосных станций и др. объектов нефтяной и газовой промышленности, может быть использована модель DEA – Data Envelopment Analysis (называемая иногда в отечественных публикациях АСФ – Анализ Среды Функционирования), не нашедшая еще широкого применения в нашей стране [5.14]. Удобство данной модели заключается в получении единственного обобщенного показателя (коэффициента эффективности), учитывающего множество факторов и характеризующего недооцененность каждого объекта относительно других по совокупности показателей. Впервые эта модель была предложена в 1978 г. для анализа деятельности фирм, затрачивающих несколько видов ресурсов на выпуск нескольких видов продукции, т.е. характеризующихся многомерным пространством производственных параметров.

Суть модели DEA состоит в построении кусочно-линейной границы эффективности (эффективной гиперповерхности), являющейся аналогом производственной функции. Построение такой границы для группы объектов осуществляется по эмпирическим данным. Каждому объекту ставится в соответствие точка в многомерном пространстве «затраты – выпуск». Все физические параметры при этом отображаются в критериальные. Путем решения соответствующих оптимизационных задач рассчитывается коэффициенты эффективности каждого объекта относительно других объектов в анализируемой группе. Границу эффективности задают объекты, для которых коэффициент эффективности равен единице, а мера удаления других объектов от границы определяет неэффективность их деятельности относительно «лучших представителей». Таким образом, для сравнительного анализа производственных объектов вычисляется количественная мера эффективности, определяются эталонные объекты, и строится эффективная гиперповерхность.

Пусть I – множество объектов, которые необходимо оценить. Каждый производственный объект потребляет M входных продуктов и производит N выходных продуктов, т.е. $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{im}) > 0$ и $Y_i = (y_{i1}, \dots, y_{in}) > 0$ являются векторами наблюдаемых входных и выходных параметров объекта i ($i = \overline{1, I}$). Тогда, в соответствии с технологией DEA, типовая модель формирования коэффициентов эффективности для i -го объекта ($i = \overline{1, I}$) может быть представлена в виде следующей задачи математического программирования:

$$\max k_i(a, b) = \left(\sum_{n=1}^N a_n y_{in} \right) / \left(\sum_{m=1}^M b_m x_{im} \right); \quad (5.1)$$

$$\left(\sum_{n=1}^N a_n y_{in} \right) / \left(\sum_{m=1}^M b_m x_{im} \right) \leq 1, \quad i \in I; \quad (5.2)$$

$$a_n > 0, \quad n = \overline{1, N}; \quad (5.3)$$

$$b_m > 0, \quad m = \overline{1, M}, \quad (5.4)$$

где переменные a_n и b_m представляют собой «веса» (значения) выходных и входных производственных параметров, определенных руководителем с помощью модуля 1 СППР. Мера эффективности в задаче (5.1)–(5.4), характеризующая эффективность каждого i -го объекта относительно остальных, определяется как отношение взвешенной суммы выходных параметров к взвешенной сумме входных параметров объекта:

$$k_i = \left(\sum_{n=1}^N a_n y_{in} \right) / \left(\sum_{m=1}^M b_m x_{im} \right).$$

Таким образом, задача заключается в максимизации коэффициента эффективности каждого производственного объекта при условии, что аналогичные коэффициенты для других объектов не превосходят заданной нормы.

В зависимости от специфики конкретной задачи в рамках технологии DEA могут использоваться различные модели типа (5.1)–(5.4).

В целом технология DEA является эффективным инструментом сравнительного анализа для независимых или слабо зависимых между собой проектов. Однако следует отметить ее недостаточную чув-

ствительность при формировании оценок в условиях сравнительного анализа объектов различного масштаба и ограниченную возможность применения при формировании инвестиционных программ, состоящих из сильно связанных проектов. Кроме того, представление обобщенных затрат (выпуска) в коэффициентах эффективности в виде линейной комбинации всех затрат (выпусков) является существенным упрощением с практической точки зрения. Построение самих моделей и придание им содержательного смысла (а также содержательная оценка результатов) в каждом конкретном случае затруднительны без привлечения накопленного практического опыта и знаний экспертов в соответствующей предметной области. Использование технологии DEA для отбора проектов при инвестиционном анализе может быть весьма продуктивным на конечной стадии отбора, когда проведен финансово-экономический анализ каждого проекта, выделены множества альтернативных проектов, отвечающих требуемым критериям эффективности, и необходимо выбрать лучшие из них по совокупности критериев. На этапе предварительного отбора инвестиционных проектов для дальнейшего анализа целесообразно применять более простые (менее трудоемкие) методы.

Целевая функция центра в этом механизме может записываться в виде [5.11]:

$$\Phi_{\rho}(x) = \lambda \sum_{i \in N} x_i - (1 + \rho) \sum_{i \in N} c_i(x_i),$$

где $\rho \geq 0$ – норматив рентабельности; x_i – значение плана (цели); c_i – величина затрат i -го подразделения или предприятия, λ – коэффициент.

Поскольку значения ρ , c_i и λ при определении величин планов чрезвычайно важны (заметим, центр стремится к $\rho=0$), как для центра, так и для подчиненных организаций, то модуль 4 СППР оценки алгоритмов должен обратиться к модулю 6 СППР для их согласования. Согласовав эти значения, модуль оценки альтернатив возможных управленческих решений, решая задачу $\Phi_{\rho}(x) \rightarrow \max_{(x_i \geq 0)}$, находит оптимальные значения планов:

$$x_{i\rho} = r_i \xi \left(\frac{\lambda}{1 + \rho} \right), \quad i \in N,$$

где ξ – функция, обратная $c'_i(x_i)$, а r_i – параметр эффективности i -го подразделения или предприятия, значение которого либо должны храниться в базе данных, либо также согласуются обращением к модулю 6 СППР.

Практически во всех математических моделях значения коэффициентов и алгоритмы решений являются предметом соглашения экспертов, руководителей, а во многих случаях и разработчиков систем.

Какая математическая модель и какой математический аппарат лучше при компьютерной поддержке принятия решений? Об этом идут дискуссии между специалистами, «исповедующими» те или иные математические модели и методы. Однако использование различных методов и алгоритмов для решения одного класса задач в математике давно и хорошо известное явление. Конкретный метод выбирается в зависимости от характера данных и особенностей задачи.

Неопределенность при выборе математических моделей далеко не так велика, как это кажется на первый взгляд. Как показывает опыт, эксперт или руководитель в значительной степени ограничен в свободе выбора математической модели и аппарата ее описания. Эти ограничения связаны, как это ни странно, не столько с физикой явления и возникающими из нее требованиями, сколько со знаниями, опытом и пристрастиями эксперта или руководителя [5.15].

5.7. Учет предпочтений руководителей в прогнозе последствий вариантов решений

Модуль 5 СППР – прогноз результатов принимаемых решений – может использовать более двухсот существующих в настоящее время программных пакетов прогнозирования. Методы прогнозирования относительно хорошо работают, когда процесс стационарен, то есть его характеристики слабо изменяются во времени. Хорошо работают эти методы и в том случае, когда функция изменения характеристик процесса известна. К сожалению, так бывает далеко не всегда. Тем не менее, методами прогнозирования в той или иной форме при принятии управленческих и проектных решений всегда пользовались и пользуются.

В настоящее время все шире используются методы прогнозирования, основанные на сочетании результатов наблюдений и субъективных экспертных оценках.

5.8. Согласования групповых решений

Выше уже отмечалось, что все модули СППР в процессе выработки управленческого решения обращаются к модулю согласованных групповых решений, и были показаны элементы методов согласования. Согласование групповых решений осуществляется модулем СППР в ходе переговоров, проводимых с помощью СППР [5.8].

На рис. 5.10 [5.8] показано чередование двух фаз, из которых состоит процесс переговоров: фазы принятия индивидуальных решений и фазы ведения переговоров (согласования решений).

Компьютерные системы поддержки переговоров в процессе согласования групповых решений могут оказать (и оказывают) существенную помощь в нахождении общего взгляда на проблему и выработку согласованного решения, несмотря на противоречия интересов участников переговоров, их оценок существующей ситуации и методов достижения цели.

В литературе, посвященной компьютерной системе поддержки переговоров, внимание человеческому фактору уделяется не всегда. Однако использование компьютера в процессе переговоров не снижает роль человека, его искусство вести переговоры по-прежнему остается одним из решающих факторов успеха.

5.8. Выбор лучшего, с точки зрения руководителя, варианта решения

Модуль 7 СППР осуществляет ранжирование варианта множества решений при помощи заданной функции субъективных предпочтений руководителя с учетом определенного ранее списка параметров, критериев и их «весов». В результате каждое решение получает лингвистическую или балльную оценку, а множество вариантов решений становится линейно упорядоченным. Оно и представляется руководителям системой поддержки принятия решений.

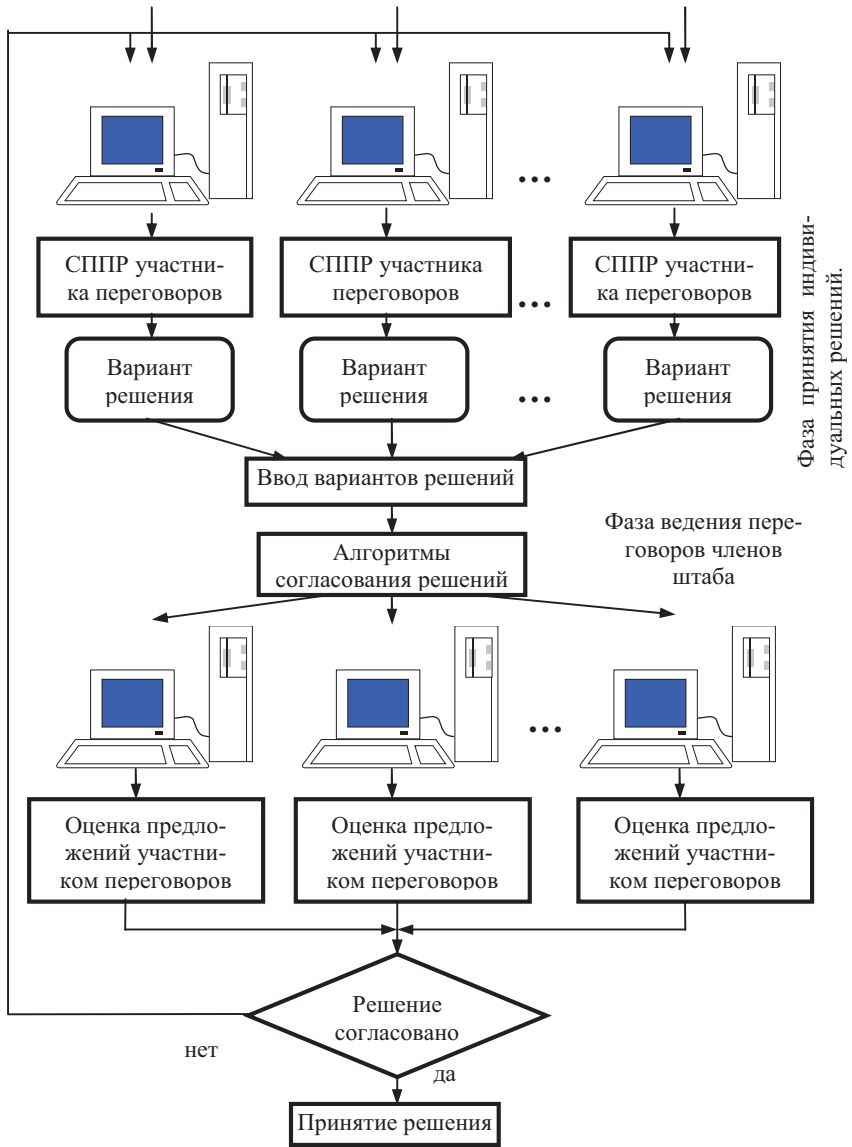


Рис. 5.10

Каждый руководитель может осуществить свое ранжирование (не отвечающее ранжированию СППР). Затем СППР согласовывает ранжирование с помощью модуля 6 рис. 5.1 и два, три лучших варианта представляются руководителю для окончательного утверждения.

На рис. 5.11 и 5.12 показаны варианты интерфейса согласования и утверждения решения по выбору сценария ликвидации последствий радиационного воздействия.

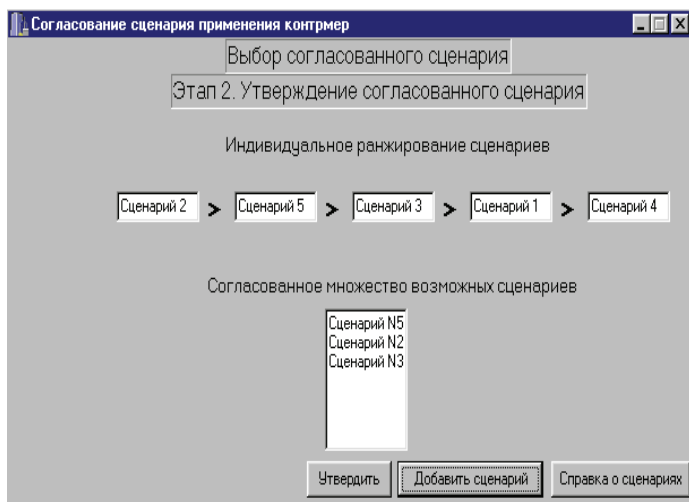


Рис. 5.11

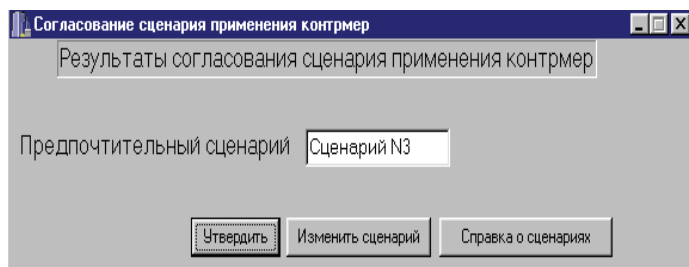


Рис. 5.12

Глава 6

ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

6.1. Допустимость применения математических моделей

В процессе принятия нового решения человек в состоянии рассмотреть несколько вариантов и во многих случаях не замечает лучший или опасный (например, «зевки» в шахматах). СППР способна генерировать, если не все, то очень большое число возможных решений. Но генерация большого числа решений имеет смысл только в том случае, если сама СППР сможет их оценить и проранжировать с учетом предпочтений руководителя. (Показывать большое число, например 200 вариантов, руководителю бессмысленно, он не в состоянии проанализировать все варианты).

Для представления лучших вариантов решений, сгенерированных с помощью СППР, их необходимо оценить, проранжировать и выбрать лучшие. Оценка вариантов решений производится с помощью математических моделей и обязательно с учетом предпочтений руководителя.

Вопрос о применении математических моделей для анализа проблем принятия решений в экономике, экологии, управлении производством и других областях, законы функционирования которых, еще плохо формализованы и изучены, не может рассматриваться также как, например, в физике, в которой математические модели достаточно точны, т.к. являются результатом многовековых успешных исследований. В этих областях математические модели во многих случаях грубы, иногда дают даже качественные неверные предсказания. Это связано, в частности, как с огромной сложностью этих

проблем, так и с их зависимостью от возникающих в этих задачах неопределенностей и чисто субъективных факторов. Поэтому отношение к результатам моделирования системой поддержки принятия решений задач, относящихся к этим областям, как к чему-то безусловному, столь естественное в большинстве областей физики, недопустимо, и субъективные оценки параметров моделей, определяемые руководителями имеют очень большое значение.

Решение этой проблемы может быть найдено, если использовать математические модели и методы для генерирования и оценки возможных сценариев (решений), которые воспринимаются как рекомендации для последующего обдумывания и, возможно, неформального анализа.

В качестве примера полезности таких моделей можно привести одно из первых, если не первое, исследование модели мировой динамики, осуществленное в конце 60-х годов Дж. Форрестером [6.1]. Он связал основные экономические и демографические характеристики с помощью простых отношений для того, чтобы затем изучить в динамике взаимное влияние этих характеристик и получить некий вариант развития мировой экономики. Несмотря на произвольность многих допущений, исследование смогло предсказать проблемы, возникшие в последующие годы: подорожание некоторых видов ресурсов, нарастающее загрязнение окружающей среды, нехватка сельскохозяйственной продукции и т.д.

Отметим в связи с этим, что в главе 4 были уже рассмотрены проблемы связанные с неопределенность и субъективность в математических моделях, используемых при поддержке управленческих решений. Некоторые математические методы (далеко не все), условия их применения и области применения в нефтегазовом производстве также были кратко представлены в этой главе. Было показано, что для описания этих моделей используется различный математический аппарат: теоретико-игровые методы, методы субъективной вероятности, нечеткие множества, нейронные сети, кусочно-линейная аппроксимация, марковские случайные процессы, методы математического программирования и др. Вместе с тем, необходимо отметить, что нефтегазовое производство имеет ряд особенностей, обуславливающих применение тех или иных математических моделей.

6.2. Элементы теоретико-игровых моделей принятия решений

А. Основные понятия и определения [6.2 – 6.6]

В практической деятельности и, в частности, при управлении нефтегазодобычей, весьма часто приходится рассматривать явления и ситуации (например, при выборе методов воздействия на пласт, вариантов разработки и обустройства месторождений), в которых участвуют две (или более) стороны, имеющие различные интересы и обладающие возможностями применять для достижения своих целей разнообразные действия. Подобные явления и ситуации принято называть *конфликтными*, или просто *конфликтами*.

Студент приходит на экзамен, тянет билет и... возникает конфликтная ситуация. Действия сторон – студента и преподавателя — различны, да и их интересы не во всем совпадают.

Игра – это упрощенная модель конфликта, которая отличается от реальной конфликтной ситуации тем, что ведется по вполне определенным правилам. Теория игр изучает и анализирует конфликты, представленные в виде, как правило, упрощенных математических моделей.

Заинтересованные играющие стороны игры называются игроками. Любое возможное для игрока действие (ход), в рамках заданных правил игр, называется его *стратегией*. В условиях конфликта каждый игрок выбирает свою стратегию, в результате чего складывается набор стратегий, называемый *ситуацией*. Заинтересованность игроков в ситуации проявляется в том, что каждому игроку в каждой ситуации приписывается число, выражающее степень удовлетворения его интересов в этой ситуации и называемое его выигрышем в ней.

Одной из форм воплощения оптимальности является понятие *равновесия*, при котором складывается такая ситуация, в нарушении которой не заинтересован ни один из игроков. Такие ситуации являются выгодными для каждого игрока: в равновесной ситуации каждый игрок получает наибольший выигрыш. В теории игр рассматриваются два вида равновесия – равновесие по Парето и по Нэшу (см. далее). Если в игре равновесия нет, то, оставаясь в условиях стратегий, имеющихся у игроков, задача неразрешима. При возникновении подобных случаев ставится вопрос о расширении первоначального

понятия стратегии. В действиях игроков различают чистые (личные) и смешанные стратегии. Смешанные стратегии представляются некоторыми комбинациями (возможно вероятностными) исходных стратегий (при этом, естественно, предполагается, что игра повторяется многократно).

Решением игры является набор оптимальных стратегий, ведущих к равновесной ситуации, и средний выигрыш каждого из игроков (или цена игры). К решению игры в смешанных стратегиях добавляются также вероятности, с которыми выбираются чистые стратегии.

Пользуясь различными основаниями (сторонами) классификации теоретико-игровых задач можно дать следующую их классификацию [6.5]:

- *по количеству сторон (игроков)*, участвующих в конфликте (игре), различают игры двух лиц и игры многих лиц;

- *по ограничению на выигрыш*, среди игр двух лиц различают игры с нулевой суммой (антагонистические игры), в которых сумма выигрышей игроков при каждом исходе равна нулю, игры с произвольной суммой, в которых сумма выигрышей игроков может отличаться от нуля для всех или нескольких исходов игры;

- *по информированности сторон*, различают позиционные игры с полной информацией (каждый игрок знает, в какой именно позиции дерева игры он находится, например игра в шашки, шахматы и др.) и позиционные игры с неполной информацией (игрокам неизвестно, какими ресурсами располагают и какой стратегией пользуются другие участники, например игра в преферанс, покер и др.);

- *по количеству повторений* игры делятся на однократные и динамические игры; динамические игры с дискретным временем называются повторяющимися играми, а игры, в которых динамика описывается дифференциальными или конечно-разностными уравнениями, называются дифференциальными играми;

- *по мощности множества исходов и/или стратегий* разделяют дискретные и непрерывные игры (в отличие от непрерывных игр, в дискретных играх множество исходов конечно);

- *по возможности совместных действий* среди игр многих, то есть более двух) лиц различают некооперативные и кооперативные игры;

- по последовательности ходов игры можно подразделить на иерархические и неиерархические; к последним относятся большинство игровых моделей, где принимается порядок функционирования, в соответствии с которым игроки выбирают стратегии одновременно;

- по числу стратегий игры делятся на конечные (число стратегий конечно) и бесконечные игры (хотя бы один игрок имеет бесконечное множество стратегий).

В. Матричные игры [6.2-6.4]

Под *игрой* будем понимать последовательность действий (ходов) сторон A и B . Данное определение игры относится к парным (матричным) играм, теория которых разработана наиболее полно.

Стратегией игрока называется совокупность правил, по которым он анализирует ситуацию и делает ходы, от начала игры до ее завершения. Задание пары стратегий сторон A и B в парной игре полностью определяет ее *исход*, т.е. выигрыш одного и проигрыш другого.

Целью игры является выработка рекомендаций для разумного поведения игроков в конфликтной ситуации, т. е. определение оптимальной стратегии для каждого из них.

Оптимальной стратегией игрока называется такая стратегия, которая при многократном повторении игры обеспечивает данному игроку максимальный возможный средний выигрыш (минимальный возможный средний проигрыш).

Игра называется *конечной*, если у каждого игрока имеется лишь конечное число стратегий.

Наиболее полно разработана теория матричных игр с нулевой суммой, т. е. таких игр при которых одна сторона выигрывает то, что проигрывает другая.

Стратегия игрока, состоящая из последовательности определенных им ходов, называется *чистой* стратегией. Кроме чистых стратегий в теории игр рассматриваются *смешанные* стратегии. *Смешанная* стратегия состоит в том, что при повторении игры происходит случайный выбор стратегии из некоторого множества смешиваемых стратегий и для каждой такой стратегии указывается вероятность ее выбора. Смешанная стратегия, таким образом, может формироваться при помощи личных и случайных ходов.

Если игра содержит кроме личных ходов смешанные ходы, то выигрышем при выборе стратегий A_i, B_j является случайное число. В этом случае естественной оценкой ожидаемого выигрыша является математическое ожидание случайного выигрыша.

Любая парная игра задается так называемой платежной матрицей или матрицей игры – таблица 6.1.

Таблица 6.1

$A \backslash B$	B_1	B_2	...	B_j	...	B_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
\vdots						
A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{in}
\vdots						
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}

В этой матрице:

a_{ij} – выигрыш у стороны A при выбранной им стратегии i и при выбранной стороной B стратегии j и в то же время a_{ij} – проигрыш стороны B при стратегии $A_i B_j$, т.е. один выигрывает столько, сколько другой проигрывает.

Доказано, что для любой конечной парной игры с нулевой суммой существует пара оптимальных (смешанных) стратегий. Свойство оптимальности означает, что любое отступление одного из игроков от оптимальной стратегии (при условии, что другой придерживается оптимальной стратегии) при многократном повторении игры может только уменьшить его средний выигрыш (увеличить средней проигрыш). Величина выигрыша (которая может быть и отрицательной) при использовании пары оптимальных стратегий α и β называется ценой игры γ , которая в общем случае лежит между α и β :

$$\alpha \leq \gamma \leq \beta,$$

где $\alpha = \max_i \min_j a_{i,j}$, $\beta = \min_j \max_i a_{i,j}$.

Решить игру значит найти пару оптимальных стратегий α и β .

Часто бывает, что выигрыш A_{ij} не есть конкретное число, а некий качественный результат. Тогда в качестве выигрыша используют простые обозначения 1, 0 или (-1), например, бросание монеты – игра в «орел» и «решку» (игра «орлянка»), которая задается следующей платежной матрицей, табл. 6.2.

Таблица 6.2

		Игрок В	
		Орел	Решка
Игрок А	Орел	1	-1
	Решка	-1	1

Если монету бросать несколько раз, то выигрыш будет одинаковым, так как вероятность равна 0,5.

В ряде игр может выполняться условие $\alpha = \gamma = \beta$. В этом случае ситуация называется равновесной.

Игра, в которой $\alpha = \beta = \gamma$, называется игрой с седловой точкой. Седловая точка: $\alpha = \beta = \gamma =$ цена игры. Седловых точек может быть несколько.

Нижняя цена игры α и ее верхняя цена β всегда связаны неравенством $\alpha \leq \beta$. Если $\alpha = \beta$, то ситуация $\{A_{i0}, B_{k0}\}$ оказывается равновесной, и ни один из игроков не заинтересован в том, чтобы ее нарушить.

Цена игры γ (или часто ее обозначают $-v$) в игре с седловой точкой называется чистой ценой игры.

Если игра $m \times n$ не имеет седловых точек, то отыскание её решения (в смешанных стратегиях), особенно при больших m и n – трудная задача и прежде чем искать решение игры необходимо ее проанализировать и упростить, если это возможно. Упростить игру – это значит редуцировать игру, т.е. сократить число стратегий путём вычёркивания некоторых из них из платёжной матрицы.

Лишние стратегии бывают двух видов: дублирующие и заведомо невыгодные. Анализ платежных матриц легко позволяет находить эти стратегии. Подробно процедура их нахождения дана, например в [6.2]. Кратко правила редуцирования игры можно сформулировать следующим образом:

- посмотреть, нет ли в платежной матрице седловой точки (то есть нет ли совпадения \min по строке и \max по столбцу), если седловая точка есть, то решение игры найдено;
- если седловой точки нет, сравнить между собой почленно столбцы и строки, с целью вычеркивания дублирующих и заведомо невыгодных стратегий;
- уменьшить, если возможно, число стратегий путем замены некоторых групп чистых стратегий смешанными.

Игры с седловой точкой встречаются не так часто, более типичны игры в смешанных стратегиях, где $\alpha \neq \beta$. В последнем случае в расчете на разумного противника выбор целесообразно определять принципом максимина (или минимакса, в случае игрока В). При этом игрок А гарантирует себе выигрыш, равный нижней цене игры.

Смешанные стратегии представляют собой математическую модель гибкой тактики игрока, при которой противник не может знать заранее, с какой постановкой он встретится.

В соответствии с платежной матрицей, табл. 6.1 выбор стратегии игрока А осуществляется с помощью некоторого вектора P – вектора вероятностей выбора стратегии, а выбор стратегии игрока В осуществляется с помощью некоторого вектора Q , то есть:

$$A \Rightarrow P(p_1, p_2, \dots, p_n) \text{ и } \sum p_i = 1;$$

$$B \Rightarrow Q(q_1, q_2, \dots, q_m) \text{ и } \sum q_j = 1.$$

Отметим, что при таком подходе, каждая чистая стратегия является частным случаем смешанной стратегии, когда этой стратегии приписывается вероятность ее выбора $P=1$.

В этих условиях каждый выбор пары стратегий порождает случайное число, являющееся выигрышем при данном выборе.

Математическое ожидание выигрыша игрока А при векторах вероятности P и Q определяется как математическое ожидание дискретной случайной величины:

$$H_A(P, Q) = \sum_i \sum_j a_{ij} p_i q_j$$

Можно доказать, что оптимальные смешанные стратегиями игроков А и В определяются неравенствами:

$$H_A(P, Q^*) \leq H(P^*, Q^*) \leq H_A(P^*, Q)$$

Выполнение этих неравенств означает следующее:

- левое неравенство (отклонение игрока А от оптимальной стратегии P^* , при условии, что игрок В работает с Q^*) приводит к тому, что выигрыш отклонившегося игрока может только уменьшаться.
- правое неравенство (отклонение игрока В от своей оптимальной стратегии Q^* , при условии, что игрок А придерживается стратегии P^*) приводит к тому, что выигрыш игрока В будет только расти, а проигрыш уменьшаться;
- среднее неравенство $H(P^*, Q^*)$, есть решение игры и называется *ценой игры*.

Изложенное определяет основную теорему теории матричных игр (теорему Джона фон Неймана):

Каждая конечная матричная игра имеет, по крайней мере, одно решение, возможно в области смешанных стратегий, такое что:

$$\max_P \min_Q H_A(P, Q) = \min_Q \max_P H_A(P, Q)$$

и существует, по крайней мере, одна ситуация в смешанных стратегиях, когда:

$$\max_P \min_Q H_A(P, Q) = \min_Q \max_P H_A(P, Q) = H(P^*, Q^*),$$

где $H(P^*, Q^*)$ – цена игры.

Решение матричных игр обычно для игр $2 \times n$, $m \times 2$ обычно находится графическим методом. Подробно он описан в [6.2-6.4], для решения игр $n \times m$ сводится решению задачи линейного программирования, применяется для этого также итерационный алгоритм. Итерационный алгоритм решения заключается в следующем.

Игрок А выбирает любую из своих стратегий, например, A_{il} . Игрок В выбирает в качестве ответа ту стратегию B_{ij} , которая наименее

выгодна игроку A при стратегии A_{il} . Игрок A отвечает на это лучшей против стратегии игрока B стратегией A_{ia} . В свою очередь игрок B поступает лучшим для себя способом. Если этот процесс продолжать достаточно долго, то частоты, с которыми встречаются различные стратегии, стремятся к вероятностям, встречающимся в паре оптимальных стратегий S_{A^*} и S_{B^*} , а средний выигрыш игры стремится к v .

Критерием останова является условие $\alpha \approx \beta$.

Такой метод нахождения оптимальных стратегий представляет модель взаимного обучения игроков, когда каждый из них анализирует действия противника и старается отвечать на его ходы наилучшим образом.

С. Основы статистических решений (игры с природой) [6.2]

До сих пор рассматривались игры, в которых противник «разумный и злонамеренный», и мы можем не знать о выборе его действий. Второй вид неопределенности связан с неосознанными действиями противника (он действует случайным образом).

В частности такие ситуации могут возникнуть при выборе методов воздействия на пласт, вариантов разработки и обустройства месторождений, оценке результатов бурения и т.д. Однако, отличие в описании данных ситуаций в рассмотренных выше вариантах матричных игр от рассматриваемых в данном разделе состоит в том, что в первом случае эти ситуации должны рассматриваться, например, с точки зрения активных игроков, предлагающих и отстаивающих свои интересы, например, варианты инвестиционного проекта. Во втором рассматриваемом в этом разделе случае в качестве второго игрока действительно выступает природа – нефтегазовый пласт, природные (суша, море, климат и др.), геолого-технологические условия (пористость, проницаемость, высота кровли пласта и т.д.) и т.п., которые активных действий не предпринимают, а неопределенность состоит в том, с какой вероятностью или шансами реализуются те или иные условия.

Игры с учетом последнего типа неопределенности называются *играми с природой* (или *теорией статистических решений*).

Так же как и в предыдущих случаях, когда реализуется игра с природой, вначале нужно упростить игру. При этом, в игре с природой – пассивный игрок (природа) обычно обозначается как – II .

Суть игры состоит в том, что игроку А требуется выбрать такую чистую или смешанную стратегию, которая является более выгодной, чем остальные. Казалось бы, это проще, поскольку противник пассивный. Но пассивное состояние природы вносит специфическую неопределённость в состояние игры.

Предположим, что в платежной матрице мы имеем некоторые a_{ij} и a_{kl} такие что, $a_{ij} > a_{kl}$. При этом, выигрыш (a_{ij}) может быть больше второго (a_{kl}) не за счёт нашего выбора более удачной стратегии, а за счёт того, что состояние природы Π_j выгоднее для нас, чем Π_l , в этом смысл удачности стратегии. Поэтому для разрешения этого вопроса необходимо ввести дополнительные показатели, который описывали бы «удачность» или «неудачность» принятия данной стратегии в данной ситуации с учётом общей благоприятности ситуации. С этой целью вводится понятие риска.

Риском игрока А при использовании стратегии A_i в условиях Π_j называется разность между выигрышем, который он получил бы, если бы знал Π_j , и выигрышем, который он получает в тех же условиях, применяя стратегию A_i . Очевидно, если бы игрок знал заранее состояние природы Π_j , он выбрал бы ту стратегию, которой соответствует максимальный выигрыш в данном столбце (максимум столбца j) – это β_j . Тогда риск r_{ij} есть:

$$r_{i,j} = \beta_j - a_{i,j} = \max_i a_{i,j} - a_{i,j},$$

где $\beta_j = \max_i a_{i,j}$, $r_{ij} \geq 0$.

Поэтому введенное понятие риска является мерой благоприятности состояния природы.

В игре с природой необходимо сформулировать точные критерии принятия решений. Обычно используются следующие критерии:

1. Наиболее просто задача о выборе решения решается в условиях, когда нам известны вероятности реализации состояний Π_j и их вероятности $Q(\Pi_j)$. В этом случае за несколько партий мы получим среднее значение выигрыша (математическое ожидание):

$$\bar{a}_i = \sum_{j=1}^n Q_j a_{i,j} \rightarrow \max,$$

где \bar{a}_i – взвешенное среднее.

Оптимальной стратегией $A^* = A_i$ будет та, которая удовлетворяет этому условию.

В результате задача сводится к поиску решения в среднем.

Средний риск:

$$\bar{r}_i = \sum_{j=1}^n Q_j r_{i,j} \rightarrow \min$$

Можно показать, что стратегия максимизации \bar{a}_i и минимизации \bar{r}_i одна и та же. В случае, когда известны вероятности $Q_1, Q_2 \dots Q_n$, при решении игры с природой всегда можно обойтись чистыми стратегиями, не применяя смешанных стратегий, то есть:

средний выигрыш $\bar{a} = \sum_{i=1}^n p_i \bar{a}_i$ – это среднее взвешенное среднего выигрыша, соответствующее чистым стратегиям и:

$$\bar{a} \leq \max_i \bar{a}_i$$

Поэтому принятие смешанной стратегии игроком А не может быть выгоднее с любыми вероятностями P_i , чем применение чистой стратегии $A^* = A_i$.

В теории игр с природой существует три подхода к определению a_j :

а) Вероятности считаются субъективными и определяются экспертами.

$$Q_i = \frac{1}{n} \text{ – принцип недостаточного основания Лапласа;}$$

б) Располагают состояние природы (гипотезы) в порядке их правдоподобности, тогда:

$$1) Q_i = \frac{2 * (n - j + 1)}{n * (n + 1)} \text{ – точечная оценка Фишбена;}$$

2) могут быть использованы матрицы парных сравнений (см. ниже) и соответствующее ранжирование состояний природы;

в) существуют статистические данные о состоянии природы, на основе которых можно построить дискретный ряд вероятностей.

За оптимальное решение принимается та стратегия A_i^* , которое дает средний максимальный выигрыш (минимальный суммарный риск). В целом, применение этого критерия о выборе решения в ус-

ловиях неопределенности при рассмотренном подходе превращается в задачу о выборе решения в условиях определенности, только принятое решение является оптимальным не в каждом отдельном случае, а в среднем.

2. *Максиминный критерий Вальда* (критерий пессимизма – всегда рассчитывай на худшее) – худший результат объявляется минимальным выигрышем, то есть:

$$\max_i \min_j a_{i,j}$$

3. *Критерий Сэвиджа* (любыми путями избежать большого риска) – худшим объявляется не минимальный выигрыш, а максимальная потеря выигрыша по сравнению с тем, чего можно было бы добиться в данных условиях:

$$\min_i \max_j r_{i,j}$$

4. *Критерий Гурвица* (критерий пессимизма-оптимизма) – степень пессимизма оценивается экспертами критерием α

$$\max_i \left\{ \alpha \min_j a_{i,j} + (1 + \alpha) \max_j a_{i,j} \right\},$$

где $\alpha = 1, \dots, n$. При $\alpha = 1$ получаем критерий Вальда.

Одним из центральных вопросов теории игр с природой является вопрос о том, как могут помочь в принятии решений эксперименты, направленные на выяснение действительных состояний природы. Речь здесь идет, прежде всего, о выводах из экспериментов, об их планировании и обработке. Как правило, при планировании эксперимента рассматривается следующий вопрос.

Нам предстоит предпринять некоторую операцию в недостаточно выясненных условиях, например, бурить или не бурить скважину, выполнять гидроразрыв пласта или нет и т.д. Имеет смысл для уточнения условий в нашей неопределенной ситуации предпринять некоторый эксперимент ε . Но на проведение эксперимента требуются средства. Если эксперимент дорог, он не проводится, если достаточно дешёв – ответ положительный. Расчеты о целесообразности проведения эксперимента производятся исходя из среднего риска.

Эксперименты бывают двух типов:

– *идеальный эксперимент*, после которого мы точно знаем состояния природы Π_j ;

– *неидеальный эксперимент*, который не приводит к точному вычислению состояний природы P_j .

Д. Биматричные игры [6.3 - 6.6]

Есть ситуации, в которых интересы игроков хотя и не совпадают, но уже не обязательно являются противоположными. Последовательно перебирая все стратегии игрока A и все стратегии игрока B , мы можем заполнить их выигрышами табл. 6.3 и 6.4.

Таблица 6.3

	B_1	...	B_k	...	B_n
A_1	a_{11}	...	a_{1k}	...	a_{1n}
...
A_i	a_{i1}	...	a_{ik}	...	a_{in}
...
A_m	a_{m1}	...	a_{mk}	...	a_{mn}

Таблица 6.4

	B_1	...	B_k
A_1	b_{11}	...	b_{1k}
...
A_i	b_{i1}	...	b_{ik}
...
A_m	b_{m1}	...	b_{mk}

Первая из таблиц описывает выигрыши игрока A , а вторая – выигрыши игрока B . Обычно эти таблицы записывают в виде матриц.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ik} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mk} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1k} & \dots & b_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & \dots & b_{ik} & \dots & b_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & \dots & b_{mk} & \dots & b_{mn} \end{pmatrix}$$

Здесь A – платежная матрица игрока A , а B – платежная матрица игрока B .

Таким образом, в случае, когда интересы игроков различны, получаются две платежные матрицы: игроку A и игроку B , поэтому совершенно естественно звучит название, которое обычно присваивается подобной игре – *биматричная*.

Вследствие того, что интересы игроков не совпадают, нужно найти такое решение, которое бы в том или ином, но в одинаковом смысле удовлетворяло обоих игроков.

При расширении матричной игры путем перехода к смешанным стратегиям, т.е. к такому поведению игроков, при котором они чередуют (чистые) стратегии с определенными вероятностями: игрок A – стратегии A_1, \dots, A_m с вероятностями p_1, \dots, p_m , где $p_1 \geq 0, \dots, p_m \geq 0$,

$\sum_{i=1}^m p_i = 1$, а игрок B – стратегии B_1, \dots, B_n с вероятностями q_1, \dots, q_n ,

где $q_1 \geq 0, \dots, q_n \geq 0$, $\sum_{k=1}^n p_k = 1$,

Доказано, что в смешанных стратегиях равновесная ситуация всегда существует. При смешанных стратегиях в биматричных играх возникают средние выигрыши игроков A и B , определяемые по правилам:

$$H_A = \sum_{i,k} a_{ik} p_i q_k, \quad H_B = \sum_{i,k} b_{ik} p_i q_k.$$

Е. Равновесие Нэша

В теории игр равновесием Нэша, названным в честь Джона Форбса Нэша, называется такая совокупность стратегий игры двух и более игроков, реализуя которые ни один участник не может увеличить выигрыш, изменив свою стратегию в одностороннем порядке, когда другие участники не меняют своих стратегий.

Нэш показал в своей диссертации «Некооперативные игры» (1950), что такие равновесия должны существовать для всех конечных игр с любым числом игроков.

Равновесие Нэша может быть как в чистых, так и в смешанных стратегиях. Для вычислений равновесий в играх с несколькими участниками и с несколькими стратегиями нет простого рецепта. Однако есть некоторые предписания: исключение доминируемых стратегий,

перебор вариантов. Множество тех чистых стратегий, которые с ненулевой вероятностью входят в равновесные стратегии – важный аспект равновесия. Далее следует перебор всех подмножеств, для каждого пытаются решить систему неравенств. Это довольно сложный алгоритм. Платежные матрицы игроков имеют следующий вид:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}$$

Вероятности использования стратегий для А: $p_1 = p$ и $p_2 = 1-p$ и для В: $q_1 = q$ и $q_2 = 1-q$.

Средние выигрыши считаются по формулам:

$$H_A(p, q) = a_{11} p q + a_{12} p(1-q) + a_{21}(1-p)q + a_{22}(1-p)(1-q)$$

$$H_B(p, q) = b_{11} p q + b_{12} p(1-q) + b_{21}(1-p)q + b_{22}(1-p)(1-q),$$

где $0 < p <= 1$ и $0 < q <= 1$.

Пара чисел (p^*, q^*) , где $0 <= p^* <= 1$ и $0 <= q^* <= 1$ определяет равновесную ситуацию, если для любых p и q , подчиненных условиям $0 <= p <= 1$ и $0 <= q <= 1$, одновременно выполнены следующие неравенства:

$$H_A(p, q^*) <= H_A(p^*, q^*) \quad \text{и} \quad H_B(p^*, q) <= H_B(p^*, q^*)$$

Эти неравенства равносильны выполнению неравенств:

$$H_A(0, q^*) <= H_A(p^*, q^*), \quad H_B(p^*, 0) <= H_B(p^*, q^*),$$

$$H_A(1, q^*) <= H_A(p^*, q^*), \quad H_B(p^*, 1) <= H_B(p^*, q^*).$$

т.е. чтобы убедиться в обоснованности пары (p^*, q^*) на определение равновесной ситуации, надо проверить справедливость неравенства $H_A(p, q^*) <= H_A(p^*, q^*)$ для двух чистых стратегий игрока А ($p=0$, $p=1$) и неравенства $H_B(p^*, q) <= H_B(p^*, q^*)$ для двух чистых стратегий игрока В ($q=0$, $q=1$). Таким образом, надо, чтобы разности между средними выигрышами обоих игроков в смешанной стратегии и средними выигрышами обоих игроков в чистых стратегиях были неотрицательными, т.е.

$$H_A(p, q) - H_A(1, q),$$

$$H_A(p, q) - H_A(0, q),$$

$$H_B(p, q) - H_B(p, 1),$$

$$H_B(p, q) - H_B(p, 0) \quad \text{должны быть} \geq 0.$$

С учетом обозначений: $C = a_{11} - a_{12} - a_{21} + a_{22}$, $\alpha = a_{22} - a_{12}$, $D = b_{11} - b_{12} - b_{21} + b_{22}$ и $\beta = b_{22} - b_{21}$.

Получаем следующие необходимые и достаточные условия для того, чтобы пара (p, q) определяла равновесную ситуацию:

$$(p - 1)(Cq - \alpha) \geq 0, p(Cq - \alpha) \geq 0 \text{ при } 0 \leq p \leq 1$$

и $(q - 1)(Dp - \beta) \geq 0, q(Dp - \beta) \geq 0 \text{ при } 0 \leq q \leq 1.$

Ф. Игровой аспект оптимальности по Парето

В 1896г. В. Парето предложил в экономике концепцию, получившую название принципа Парето-оптимальности. Он широко используется при ранжировании вариантов решений, объектов и т.п. В этом разделе рассматривается игровой аспект оптимальности по Парето. Ранжирование объектов и вариантов решений подробно рассмотрено, например, в [6.7]. Состояние А (множество параметров) называется Парето-оптимальным, если не существует другого состояния В (множества других параметров) доминирующего состояния А относительно целевой функции. Состояние А доминирует состояние В, если хотя бы по одному параметру А лучше В, а по остальным не хуже.

Применительно к задаче переговоров этот принцип утверждает что, если для ситуации В существует такая ситуация А, что выигрыш каждого из участников переговоров при реализации ситуации А не меньше, чем при реализации ситуации В и, по крайней мере, один переговорщик получит выигрыш строго больший, то они предпочтут ситуацию А ситуации В.

Рассмотрим на плоскости (U, V) множество ω . Каждая его точка обладает одним из следующих свойств: либо все точки, ближайшие к ней, принадлежат множеству ω (такая точка называется внутренней точкой множества ω), либо сколь угодно близко от нее расположены как точки множества ω , так и точки, множеству ω не принадлежащие (такие точки называются граничными точками множества ω). Множество всех граничных точек множества называется его границей. Граничная точка может как принадлежать множеству ω , так и не принадлежать. Здесь рассмотрим только такие множества, которым принадлежат все точки границы.

Точки множества ω можно разбить на три класса:

I класс – точки, которые, оставаясь во множестве ω , можно сдвинуть так, чтобы одновременно увеличились обе координаты (в этот

класс попадают все внутренние точки множества ω и часть его граничных точек) (на рис. 6.1 это точки M_1 , M_2 и M_3);

II класс – точки, перемещением которых по множеству ω можно увеличить только одну из координат при сохранении значения второй (вертикальный отрезок AB и горизонтальный отрезок PQ на границе множества ω);

III класс – точки, перемещение которых по множеству ω способно лишь уменьшить либо одну из координат, либо обе (дуга BQ границы множества ω).

Множество точек третьего класса называется множеством Парето или границей Парето данного множества ω .

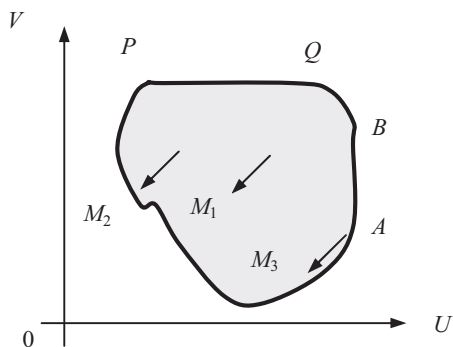


Рис. 6.1

Рассмотрим один из методов, использующий множество Парето – метод идеальной точки.

Пусть у нас есть некоторое множество ε , каждая точка которого описывается двумя функциям $U=\Phi(x;y)$ и $V=\Psi(x;y)$ (U и V – средние выигрыши игроков A и B соответственно, а x и y – вероятности выбора стратегий для получения этого выигрыша).

Теперь в данном множестве ε попытаемся найти такую точку, в которой обе функции U и V принимают свои максимальные значения. В общем случае эта точка окажется вне множества ε . То есть, не существует стратегий, при которых оба игрока получают максимальный для каждого выигрыш.

Точка, в которой функции U и V достигают своих максимальных значений, называется *точкой утопии*.

Поэтому строится множество Парето и на нем ищется точка, ближайшая к точке утопии — *идеальная точка* (см. рис. 6.2).

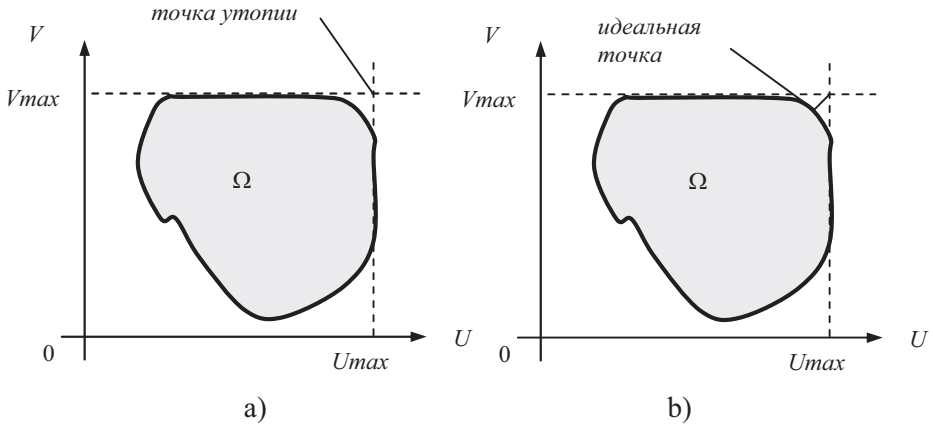


Рис. 6.2

Значения функций U и V в идеальной точке и есть оптимальные средние выигрыши для каждого игрока.

Пусть $H_A(p, q)$ и $H_B(p, q)$ — средние выигрыши игроков А и В с платежными матрицами

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}.$$

Ситуация (p^*, q^*) в биматричной игре А и В называется оптимальной по Парето, если из того, что

$$H_A(p^*, q^*) \leq H_A(p, q) \quad \text{и} \quad H_B(p^*, q^*) \leq H_B(p, q),$$

вытекают равенства:

$$P = P^*, \quad q = q^*.$$

То есть, в оптимальной по Парето ситуации игроки не могут совместными усилиями увеличить выигрыш одного из игроков, не уменьшив при этом выигрыш другого.

Г. Сравнение равновесий Нэша с Парето-оптимальностью

Парето-оптимальность – общее понятие равновесия, которое полностью зависит от того, какие элементы в неё включаются. Находя оптимальную точку, все участники переговоров (игроки) получают доход (выигрыш) не меньший, чем при выборе этой точки другим методом, или даже лучший. Но это верно только при согласованных усилиях всех участников (игроков).

Из принадлежности параметров значений к множеству Парето не следует, что эти значения максимально выгодны каждому из игроков. Если кто-то из них сепаратно изменит значения своих параметров (отклонится от своей стратегии), то может увеличить свой выигрыш. Действия других участников (игроков) на такое поведение может вывести значения параметров из множества Парето. То есть индивидуальные интересы участников могут расходиться с коллективным интересом. Следовательно, *оптимальная ситуация по Парето неустойчива*.

Ситуация, равновесная по Нэшу является более устойчивой, т.к. ни одному из участников не выгодно отклоняться от неё поодиночке. Однако равновесие Нэша тоже бывает неустойчивым, потому что, возможно, объединившись, игроки могут увеличить свой выигрыш выходом из равновесия Нэша. Тут имеет место более устойчивое равновесие – *сильное равновесие Нэша*, которое не позволяет даже произвольной коалиции игроков увеличить одновременно свой выигрыш, отклоняясь от равновесия.

Сильные равновесия Нэша, если они существуют, оптимальны по Парето, но существуют они далеко не всегда.

При многократном повторении игры, в среднем стремится к равновесию по Парето. Потому что, когда игра повторяется несколько раз, игроки поймут, что стоит объединиться (сотрудничать) и тем самым увеличить свой выигрыш (максимально минимизировать проигрыш).

Поэтому значения параметров (стратегии), определяющие точку равновесия Нэша, могут быть использованы в качестве начальных в переговорах (для игроков в игре).

6.3. Элементы байесовских моделей [6.8]

Пусть неидеальный эксперимент ε не приводит к определению в точности состояний природы Π_j , а лишь дает некоторые косвенные сведения в пользу тех или иных состояний. Тогда в общем случае мы можем предположить, что эксперимент ε приводит к появлению одного из событий $B_1, B_2 \dots B_k$. Причем вероятности этих событий (исходов эксперимента) зависят от условий, в которых он проводится, т.е. $\Pi_1, \Pi_2 \dots \Pi_n$.

Обозначим условную вероятность появления события $P(B_l/\Pi_j)$, где $j=1 \dots n, l=1 \dots k$. Будем считать, что все эти условия вероятности нам известны. После осуществления эксперимента ε , давшего некоторый исход, нам придется пересмотреть вероятности условий: состояния природы будут характеризоваться не прежними априорными вероятностями $Q_1, Q_2 \dots Q_n$, а новыми апостериорными (вероятности после опыта) $\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2 \dots \tilde{Q}_n$, т.е. условными вероятностями $A_1, A_2 \dots A_n$ при условии, что эксперимент дал результат B_l .

Из курса теории вероятности известно, что апостериорные вероятности подсчитываются по формуле Байеса:

$$P(\Pi_j/B_l) = \tilde{Q}_{j,l} = \frac{Q_j P(B_l/\Pi_j)}{\sum_{j=1}^n Q_j P(B_l/\Pi_j)}.$$

С этой формулой связан подход принятий решений в ситуации неопределенности, называемый байесовским подходом.

Иллюстрацией этого подхода принятия решений в условиях неопределенности даже безотносительно игр с природой может быть следующий пример.

Пример оценивания результатов бурения

Испытание керна и другие виды испытаний, производимые разведочной скважиной, не всегда позволяют достоверно определить нефтегазоносность пласта. Пласт может быть вскрыт скважиной в законтурной зоне (зоне вне пласта) или может быть слабо выражен в области вскрытия. Тогда используют косвенные методы, которые дают результаты, обладающие значительной долей неопределенности, например, микропалеонтологию.

Допустим, экспертиза геологов и результаты предыдущих исследований дали следующие гипотезы:

$P(H_1)=0,6$ – пласт нефтеносный;

$P(H_2) = 0,4$ – пласт водоносный.

Надо найти условную вероятность того, что пласт нефтеносен, если:

- произошел случай B_1 – в керне обнаружена ключевая микрофлора;
- произошел случай B_2 – в керне не обнаружена ключевая микрофлора.

Пусть далее известно, что нефтяные и водоносные пласты содержат одинаковую микрофауну, но в нефтеносном пласте она встречается в 95% случаев, а в водоносном – в 70%. Следовательно, нам известна условная вероятность

$P(B_1/H_1)=0,95$;

$P(B_1/H_2)=0,70$.

Вероятность открытия месторождения на основании формулы Байеса, после того, как обнаружена микрофлора (в случае B_1), определяется по следующей формуле:

$$P(H_1/B_1) = \frac{0,6 * 0,95}{0,6 * 0,95 + 0,4 * 0,7} = 0,67.$$

6.4. Элементы марковских моделей принятия решений

[6.2, 6.4, 6.9- 6.11]

Понятие случайного процесса тесно связано с понятием случайной величины.

Случайная величина X есть некоторая функция от случайного события $\varphi(\omega)$:

$$X = \varphi(\omega).$$

В результате случайного события ω_i получается случайная величина X_i :

$$X_i = \varphi(\omega_i).$$

Функция $X(t)$ называется случайным процессом, если её значение при любом значении аргумента t является случайной величиной. Из этого следует, что понятие случайного процесса является обоб-

щением случайной величины, т.е. функция $X(t)$ есть функция двух аргументов:

$$X(t) = \varphi(\omega, t),$$

ω – множество элементов парных событий, $\omega \in \Omega$;

t – время (но может так же использоваться для обозначения длины дороги, трубопровода и т.д.): $t \in T$.

Фиксация случайного события в какой-то момент времени t' называется его сечением. Реализацией случайного процесса может быть графически представлена кривой.

Случайные процессы – не число, описываются как угодно и дискретным, и непрерывным временем.

Система «блуждает» случайным образом по своим состояниям и числовая характеристика нас не интересует.

Математическое ожидание для дискретного случайного процесса с любым временем:

$$M[X(t)] = \sum_{i=1}^n X_i(t) * P_i(t),$$

где $P_i(t)$ – вероятность $X_i(t)$.

Используют понятие центрирования случайного процесса:

$$X'(t) = X(t) - m_x(t), \text{ где}$$

$m_x(t)$ – математическое ожидание неизвестной величины X .

Дисперсия (математическое ожидание от центрированной случайной величины):

$$D(x) = M[X'(t)^2] = M[X(t)^2] - m_x^2(t).$$

Корреляционный момент (математическое ожидание от двух центрированных случайных процессов):

$$K_{x(t), y(t)} = M[X'(t)Y'(t)] = M[X(t) * Y(t) - m_x(t) * m_y(t)].$$

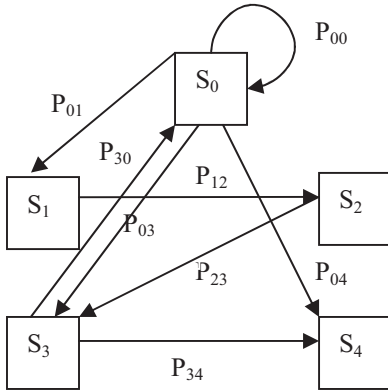
Если переходить от двух процессов к одному:

$$K_{x(t), x(t')} = M[X(t)X(t')] = M[X(t) * X(t') - m_x(t) * m_x(t')].$$

Марковские случайные процессы названы по фамилии русского математика Маркова. Теория Марковских случайных процессов имеет наглядный и простой математический аппарат.

Дискретная цепь Маркова задается ориентированным графом (пример которого дан на рис. 6.3), в котором вершины есть состояния

описываемой системы, а дуги графа для дискретного времени есть вероятности перехода из состояния в состояние. Для непрерывного времени интенсивности перехода, которое обычно задано, искомыми являются вероятности пребывания системы в некотором состоянии.



Стрелками обозначается переход системы из одного состояния в другое.

P_{ij} – вероятность перехода системы из i -го состояния в j -е.

Рис. 6.3

Марковский процесс (для дискретного времени) описывается соотношением:

$$P_{i,j}(k) = P\{S(k) = S_j, S(k-1) = S_i\},$$

где $S(k)$ – состояние системы на k -ом шаге, а S_j – j -ое состояние системы.

Условия Марковости:

Случайный процесс «блуждания» в системе по своим состояниям является процессом с пуассоновским законом распределения. Он бывает:

- стационарный;
- ординарный (одновременно система не может находиться в двух состояниях);
- без последствий (отсутствие функциональной связи между состояниями).

Для вычисления вероятности перехода в j -ое состояние P_j – на k -том шаге существует соотношение Колмогорова – Чепмена:

$$P_j(k) = \sum_{i=1}^n P_i(k-1)P_{ij}(k).$$

Переход из состояния в состояние зависит от того, в каком состоянии находилась система на предыдущем шаге и от $P_{ij}(k)$ – матрицы вероятности переходов на k -ом шаге, и эти вероятности могут меняться. Если матрица вероятности переходов не зависит от номера шага, то цепь Маркова называется однородной.

Представленная модель случайного процесса является Марковская цепью с дискретным временем.

Рассматривают также Марковские цепи с дискретными состояниями и непрерывным временем. В этом случае блуждание системы по своим состояниям описывается матрицей интенсивностей переходов системы из состояния в состояние, а уравнения Колмогорова-Чепмена для определения $p_j(k)$ преобразуются в дифференциальные уравнения относительно производных $p'_j(t)$ (см. гл. 10).

$$p'_j(t) = \left(\sum_{k=1}^n \lambda_{jk} \right) p_j(t) + \sum_{k=1}^n \beta \lambda_{kj} p_k(t).$$

При нормирующем условии,

$$\sum_{j=1}^n p_j(t) = 1$$

и начальных условиях:

$$p_1(0) = 1; p_j(0) = 0, j = 2, 3, \dots, n.$$

По определению интенсивность перехода (параметр λ экспоненциального закона распределения) имеет размерность $1/t$, где t – среднее время перехода элемента системы из состояния в состояние.

То есть технически, марковскую модель с непрерывным временем построить проще, чем модель с дискретным временем, хотя проблема подчинения пуассоновскому закону распределения всех потоков событий, переводящих элементы системы из состояния в состояние, остается. Кроме того, марковские процессы с непрерывным временем позволяют оперировать не только с вероятностями пребывания системы в своих состояниях, но и непосредственно с самими элементами (элементами, параметрами) системы. Для этого может быть использован метод динамики средних (подробнее см. главу 10),

используемый для тех систем, которые обладают большим количеством элементов, одинаково блуждающим по своим состояниям (например, скважины на нефтегазовом месторождении).

Марковская цепь обладает еще одним свойством. Она может иметь стационарный режим. Стационарность режима работы цепи Маркова состоит в том, что вероятности пребывания системы в каком-либо состоянии перестают зависеть от номера шага (времени), на котором рассматривается эта цепь, то есть $P_j = const$ (а часто и средние численности состояний в методе динамики средних). В этом случае уравнения Колмогорова-Чепмена преобразуются в систему линейных алгебраических уравнений.

При анализе марковских цепей часто к рассмотрению вероятность пребывания системы в различных состояниях в различные периоды времени добавляют информацию, касающуюся вознаграждения (или наоборот, затрат, расходов), которые могут быть получены при переходах. В этом случае речь идет об управляемых марковских процессах.

Под *управляемыми Марковскими процессами* понимают такие процессы, у которых имеется возможность до определенной степени управлять значениями переходных вероятностей и влиять, таким образом, на возможные получаемые доходы. В качестве примеров таких процессов можно привести любые торговые операции, у которых вероятность сбыта и получения эффекта может зависеть от рекламы, мероприятий по улучшению качества, выбора покупателя или рынка сбыта и т.д.

Если предположить, что r_{ij} - вознаграждение, соответствующее переходу из состояния i в состояние j , его можно интерпретировать как вознаграждение непосредственно за переход, либо как вознаграждение непосредственно за переход либо как вознаграждение за пребывание в состоянии i (либо в состоянии j) в течение одного перехода времени.

Тогда первая интерпретация соответствует, например, такому случаю, когда состояниями являются кусты скважин, а переходами – переезды ремонтных бригад от куста к кусту; r_{ij} будет прибылью, входящей в результаты ремонта скважин – увеличение добычи нефти

на скважине (кусте) за счет проведенного ремонта минус затраты на ремонт, переезд из i -го места в место j .

Вторая интерпретация соответствует, например, случаю, когда состояниями являются альтернативные состояния некоторой машины (например, подземного оборудования скважины); r_{ij} может быть, например, прибылью, полученной при пребывании в состоянии i за период времени, предшествующей переходу состояние j (например, переход нефтяного насоса из рабочего состояния в нерабочее).

В нефтегазодобыче эффективность может зависеть, например, от региональной (корпоративной) политики недропользования, оптимальной стратегии нефтегазоизвлечения (методов воздействия на пласт, технологических приемов эксплуатации скважин, комплексов используемых машин (оборудовании), дорожной сети и т.д.).

Очевидно, что в данном случае при создании математических моделей должны фигурировать следующие компоненты:

- конечное множество решений (альтернатив) K_i , стратегий, где $i \in S$ – номер состояния системы;
- матрицы переходов $\Pi_{[sj]}^{(k)}$, соответствующие тому или иному принятому k -решению;
- матрицы доходов (расходов) $R_{[sj]}^{(k)}$, также отражающие эффективность данного решения.

Формально, *управляемой цепью Маркова* (УЦМ) называется случайный процесс, обладающий марковским свойством и включающий в качестве элементов математической модели конструкцию (кортеж) $\langle K_i, \Pi_{[sj]}^{(k)}, R_{[sj]}^{(k)} \rangle$. Решение, принимаемое в каждый конкретный момент (шаг процесса) назовем частным *управлением*.

Таким образом, процесс функционирования системы описываемой УЦМ, выглядит следующим образом:

- если система находится в состоянии $i \in S$ и принимается решение $k \in K_i$ то она получает доход $r_i^{(k)}$;
- состояние системы в последующий момент времени (шаг) определяется вероятностью $P_{ij}^{(k)}$, то есть вероятностью того, что система из состояния $i \in S$ перейдет в состояние $j \in S$, если выбрано решение K_i .

Очевидно, общий доход за n -шагов является случайной величиной, зависящей от начального состояния системы и качества при-

нимаемых в течение хода процесса принятия решений, причем это качество оценивается величиной среднего суммарного дохода (при конечном времени) или среднего дохода за единицу времени (при бесконечном времени). В этих двух случаях для нахождения оптимальных решений обычно сводится в первом случае к решению задач динамического стохастического программирования – рекуррентный алгоритм нахождения оптимального решения, а во втором к решению задач линейного программирования – итерационный алгоритм.

6.5. Основные понятия теории массового обслуживания [6.2, 6.10]

Условно систему массового обслуживания (СМО) можно представить рис. 6.4:

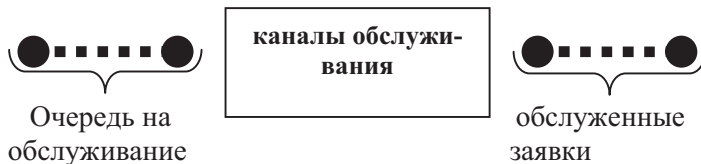


Рис. 6.4

Каналом обслуживания называется техническое или какое-либо другое устройство, обеспечивающее выполнение какой-либо заявки.

В теории массового обслуживания работа канала характеризуется тем временем, которое затрачивается на обслуживание одной заявки. В общем случае оно считается случайным и, как правило, подчиняется пуассоновскому закону распределения. Если на входе системы существует очередь и каждая заявка обслуживается независимо от других и покидает систему только после его завершения, то интервалы времени между обслуженными заявками будут также независимы и подчинены пуассоновскому закону распределения.

Процесс обслуживания обычно определяется средним временем обслуживания (пуассоновский параметр обслуживания $\mu = \frac{1}{t_\mu}$, а ин-

тенсивность потока заявок λ – числом заявок, поступивших в единицу времени).

Дисциплина обслуживания определяется порядком распределения заявок между свободными каналами, законами образования очереди, поведения заявок в очереди и порядком их обслуживания.

Системы массового обслуживания бывают разомкнутые и замкнутые. В разомкнутых системах на вход поступает извне некоторый поток заявок, причем источник заявок в систему не входит и анализу не подвергается. Разомкнутые системы массового обслуживания могут быть с отказами и без отказов. Число источников заявок ограничено, и интенсивность поступления заявок зависит от состояния источников, обусловленных работой самой системы. Основные задачи, которые решаются с помощью рассматриваемого математического аппарата – это определение вероятностей обслуживания и отказов заявкам, определение оптимальных соотношений числа каналов обслуживания и заявок, расчет длины очереди и др.

6.6. Некоторые модели принятия решений, основанные на аппарате теории нечетких множеств [6.12-6.22]

Человек в повседневной деятельности никогда не пользуется формальным моделированием на основе математических выражений. Он не ищет универсальный закон, описывающий все. Язык, которым пользуется человек для моделирования – это нечеткий естественный язык, а используемая модель, как правило, проста для понимания на качественном уровне. При организации взаимодействия человека и компьютера желательно найти интерфейс между нечеткими выражениями на естественном языке, которым оперирует человек, и элементами четких множеств, воспринимаемыми и обрабатываемыми компьютером. Часто используемым для этой цели математическим аппаратом, как это уже указывалось в четвертой главе, являются: нечеткие множества, числа, переменные, логика, алгоритмы. Ограничимся только их кратким изложением.

А. Нечеткие множества, числа, переменные, логика, алгоритмы

1. *Нечеткие множества*, предложены Лотфи Заде в 1965 г. (см. также гл. 4) – первая теория, оперирующая с неточными и даже не вполне ясными понятиями - дала схему решения проблем, в которых субъективное суждение или оценка играют существенную роль при анализе ситуации.

Конечное нечеткое множество A из универсального множества U – это множество упорядоченных пар:

$$A = \{u_i, \mu_A(u_i)\}, \quad u_i \in U,$$

где $\mu_A(u_i)$ – значение истинности, определяющее меру членства (функцию членства, функцию принадлежности), которая указывает предполагаемую степень принадлежности этому множеству.

В нечетких множествах мера членства задается на интервале $[0,1]$ часто в виде точки этого интервала. Если $\mu_A(u_i)$ может принимать значения в интервале $[0, 1]$ и $\mu_A(u_i)=0$ будет означать, что элемент u_i не принадлежит множеству A , $\mu_A(u_i)=1$ означает, что u_i принадлежит множеству A , а любое значение $0 < \mu_A(u_i) < 1$ определяет степень принадлежности u_i множеству A , тогда A – нечеткое множество. При этом $\mu_A(u_i)$ может быть как, непрерывной, так и дискретной.

Таким образом, фундаментальным вопросом задания нечеткого множества является вопрос задания функции принадлежности элементов этому множеству.

Сразу отметим одну очень важную особенность, функции принадлежности. На одном и том же заданном множестве A каждый специалист может строить, и практически, строит свою функцию. Эта функция принадлежности отражает его субъективную оценку объекта или ситуации.

Так называемые лингвистические оценки истинности такие, как «верно», «совершенно верно», «не совсем верно» и т.п. могут интерпретироваться как значения функции принадлежности нечетких множеств. Естественно, что для одного специалиста «верно» для другого может быть «не совсем верно» или даже «совсем неверно».

Поэтому каждый специалист может строить свою функцию принадлежности, хотя у некоторых специалистов они могут и совпадать.

Сам вид функции $\mu_A(u_i)$, характеризующий одно и то же понятие, процесс или объект разные специалисты могут формировать по-разному. Один считает, что для данного объекта она симметрична и имеет вид равнобедренного треугольника, другой – что это трапеция, а третий – что она имеет вид фигуры неправильной формы и т.д.

В общем случае для задания функций принадлежности в аналитическом виде Л. Заде предложил использовать функцию следующего вида:

$$\mu(u) = [1 + a(u-c)^b]^{-1},$$

где

c - определяет точку $\max \mu(u)=1$ для $b>0$ или \min для $b<0$, b - определяет поведение фронтов кривой, a - размах кривой. И тогда эмпирическое обоснование $\mu(u)$ сводится к подбору a , b , c . Но трудность этого подхода определения функции принадлежности состоит в том, что очень трудно бывает дать «физическую» (смысловую) интерпретацию этим коэффициентам.

Так, например, цель G вида «дебит скважины u должен быть близок к 1,5 млн. м³/сут.» может быть определен функцией принадлежности вида

$$\mu_G(u) = [1 + 5(1,5 - u)^2]^{-1},$$

а ограничение C – «дебит скважины u должен быть больше 1,5 млн. м³/сут.» представляется следующим образом:

$$\mu_C(u) = [1 + 0,1(u - 1,5)^{-1}]^{-1}, \text{ при } u \geq 1,5$$

и

$$\mu_C(u) = 0, \text{ при } u < 1,5.$$

Вообще говоря, сегодня при решении той или иной задачи выбор аналитического вида функции принадлежности и определения конкретных значений коэффициентов этих функций – это прерогатива эксперта. Практически все современные математические пакеты, такие как MATLAB, МАТЕМАТИСА и др. такую возможность эксперту обеспечивают.

В этом принципиальное отличие функции $\mu_A(u_i)$ от функции распределения в теории вероятностей. Сотнями экспериментов установлено, что рассеивание снарядов артиллерийских орудий подчиняется закону рассеивания Гаусса. И ни один специалист не имеет права считать, что оно подчиняется какому-нибудь другому закону распре-

деления, например Эрланга. Если он так считает, он должен это доказать. Таким образом, функция $\mu_A(u_i)$ – это функция, определяющая субъективное мнение специалиста, а скажем, функция распределения случайной величины или закон Байеса - это выражение объективной закономерности, независимой от отношения специалиста к этой закономерности.

Конечно, привлекательней всего использовать объективные закономерности, если они известны. Если эксперт или руководитель их не знает, ему ничего не остается, как, опираясь на свои знания и опыт, формулировать в явном или неявном виде свои субъективные представления. Одним из способов выражения таких представлений есть формирование функции $\mu_A(u_i)$, а значит и задание самого нечеткого множества A . Однако, в любом случае задание $\mu_A(u_i)$, носит экспертный характер. Это может касаться как выбора вида функции $\mu_A(u_i)$ и определения ее коэффициентов (см. выше), так и проведения экспертиз специального вида для определения $\mu_A(u_i)$.

Можно, например, использовать следующую экспертную процедуру определения $\mu_A(u_i)$, состоящую из следующих трех этапов [6.22]:

- определение условий, обеспечивающих назначение функции принадлежности;
- оценка состояний системы экспертом;
- обработка результатов экспертизы.

Первый пункт этой процедуры определяется тем, что размытая (нечеткая) постановка задачи (любой) предполагает нечеткую принадлежность состояния системы u_i к каждому из выделенных экспертом классов состояний системы с определенной функцией принадлежности. Тогда для любого состояния u_i необходимо назначить ряд функций принадлежности (по количеству классов), к которым может принадлежать это состояние. При этом должно выполняться два условия:

1. Система классов должна состоять из классов, представляющих противоположные события. И тогда сумма значений функций принадлежности элемента u_i к системе таких классов будет равна единице.

Например, состояние механизма (нефтяного насоса и др.): класс I – нормальное состояние (износ торцевого уплотнения в пре-

делах нормы – не подтекает), класс II – ненормальное состояние (износ торцевого уплотнения вышел за пределы нормы – подтекает). Здесь каждое состояние определяется нечетким множеством – степенью подтекания торцевого уплотнения нефтяного насоса.

2. Система взаимодополняющих классов должна быть полной.

Для нашего примера это означает что, в системе не существует (эксперт не рассматривает) других классов состояний, кроме I и II, которые бы описывали бы исправное и неисправное состояние нефтяного насоса. В этом смысле, понятие полной группы взаимодополняющих классов аналогично понятию противоположных событий в теории вероятностей.

Второй этап этой экспертной процедуры определяется тем, что при оценке состояний системы может быть два случая:

- функция принадлежности состояния классу (из известной системы классов) эквивалентна степени проявления класса в данном состоянии, выраженная в лингвистически (много, мало, и др.), баллах, процентах, например, эксперт заполняет таблицу типа табл. 6.5:

- функцию принадлежности невозможно определить, по первому способу, чаще всего это случай когда эксперт должен (или только может) отдать предпочтение лишь одному классу (мнение эксперта трудно оценить в процентах). В этом случае экспертами по каждому состоянию u_i заполняется таблица типа табл. 6.6.

Таблица 6.5

Состояние (u_i)	Степень проявления состояния (u_i) в классе в %		
	Класс I – начало эксплуатации	Класс II – середина эксплуатации	Класс III – конец эксплуатации
U_1	100	0	0
U_2	40	25	35
U_3	60	15	25
U_4	87	5	8
U_5	88	5	7

Третий этап рассматриваемой экспертизы – обработка ее результатов связан с точностью определения функций принадлежности посредством вычисления согласованности мнений экспертов. Традиционно она определяется с помощью коэффициента конкордации хорошо известными методами.

Таблица 6.6

Порядковый номер эксперта	Число голосов, отданное экспертами за класс состояния		
	Класс I – начало эксплуатации	Класс II – середина эксплуатации	Класс III – конец эксплуатации
1	1	-	1
2	1	-	-
:			
:			
20	-	1	1
Всего голосов	12	5	3
Функции принадлежности	$\mu_I(u_i)=12/20$	$\mu_{II}(u_i)=5/20$	$\mu_{III}(u_i)=3/20$

Существуют также и другие широко используемые экспертные процедуры определения $\mu_A(u_i)$, например, как метод Т. Саати [6.7], основанный на попарном сравнении состояний u_i при отнесении их к определенному классу состояний, а также метод семантических дифференциалов [6.13], основанный на том, что практически в любой области можно получить множество шкал оценок, используя следующую процедуру: а) определить список свойств, по которым оценивается объект; б) найти в этом списке полярные свойства и формировать полярную шкалу; в) для каждой пары полюсов объект оценить на то, как сильно оно обладает положительным свойством.

Можно рассматривать различные операции над нечеткими множествами по аналогии с четкими множествами. Наиболее распространенными являются определения отношений вложения, дополнительного нечеткого множества, произведения нечеткого множества и суммы нечетких множеств. Их обычно записывают в следующем виде:

$$A \subset B \leftrightarrow \mu_A(u_i) \leq \mu_B(u_i), \quad \forall u_i \in U$$

$$\mu_{\bar{A}}(u_i) = 1 - \mu_A(u_i), \quad \forall u_i \in U$$

$$\mu_{A \cup B}(u_i) = \mu_A(u_i) \vee \mu_B(u_i) \quad \text{или}$$

$$\mu_{A \cup B}(u_i) = \max \{ \mu_A(u_i), \mu_B(u_i) \}, \quad \forall u_i \in U$$

$$\mu_{A \cap B}(u_i) = \mu_A(u_i) \wedge \mu_B(u_i) \quad \text{или}$$

$$\mu_{A \cap B}(u_i) = \min \{ \mu_A(u_i), \mu_B(u_i) \}, \quad \forall u_i \in U.$$

Могут быть определены и другие операции, подробное описание которых можно найти, например в [6.13]. Однако даже этих опера-

ций бывает достаточно, чтобы определить критерии оптимальности, ограничения и альтернативы принимаемых решений.

2. *Нечеткие числа* во многих случаях применяются для непосредственных расчетов (см. например, расчеты чистого дисконтированного дохода, внутренней нормы рентабельности проекта разработки нефтегазового месторождения [6.17] и др.). При этом, наиболее популярными и легко интерпретируемыми руководителями являются нечеткие числа LR -типа.

Нечеткое число \tilde{a} , называется нечетким числом LR -типа или LR -числом, если [6.13, 6.13]:

$$\mu_{\tilde{a}} = \begin{cases} L((a-x)/\alpha), & x \leq a, \alpha > 0; \\ R((x-a)/\beta), & x > a, \beta > 0 \end{cases}$$

где a – мода нечеткого числа LR -типа, α - левый коэффициент нечеткости, β - правый коэффициент нечеткости, $L(x)$ – левая функция принадлежности, $R(x)$ – правая функция принадлежности.

Символически число LR -типа, записываются следующим образом:

$$\tilde{a} = (a, \alpha, \beta)_{LR}.$$

Арифметические операции над нечеткими числами LR -типа выполняются по следующим правилам. Пусть имеется два нечетких числа LR -типа:

$$\tilde{a} = (a, \alpha, \beta)_{LR}, \quad \tilde{b} = (b, \chi, \delta)_{LR}.$$

1. Сложение:

$$\tilde{a} + \tilde{b} = (a, \alpha, \beta)_{LR} + (b, \chi, \delta)_{LR} = (a + b, a + \chi, \beta + \delta)_{LR}.$$

2. Вычитание:

$$-\tilde{a} = -(a, \alpha, \beta)_{LR} = (-a, \beta, a)_{RL};$$

$$\tilde{a} - \tilde{b} = (a, \alpha, \beta)_{LR} + (b, \chi, \delta)_{LR} = (a - b, a + \delta, \beta + \chi)_{LR}.$$

В отличие от операций сложения и вычитания, результатом которых является также нечеткое число LR -типа, при выполнении операции умножения и деления результат уже может и не быть нечетким числом LR -типа. Однако, приближенно, с точностью до малых высшего порядка, при разложении по степеням α/a и χ/b , будут иметь место следующие соотношения:

3. Умножение:

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} \bullet (b, \chi, \delta)_{LR} \cong (ab, \alpha b + \chi a, \beta b + \delta \alpha)_{LR},$$

при $\tilde{a} > 0, \tilde{b} > 0$.

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} \bullet (b, \chi, \delta)_{RL} \cong (ab, \chi a - \beta b, \delta a - \alpha b)_{RL},$$

при $\tilde{a} > 0, \tilde{b} < 0$.

$$(a, \alpha, \beta)_{RL} \bullet (b, \chi, \delta)_{LR} \cong (ab, \alpha b + \delta a, \beta b - \chi a)_{RL},$$

при $\tilde{a} < 0, \tilde{b} > 0$.

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} \bullet (b, \chi, \delta)_{LR} \cong (ab, -\beta b - \delta a, -\alpha b - \chi a)_{LR},$$

при $\tilde{a} < 0, \tilde{b} < 0$.

$$\tilde{a} = (a, \alpha, \beta)_{LR}^{-1} \cong \left(\frac{1}{a}, \frac{\beta}{a^2}, \frac{\alpha}{a^2} \right)_{RL}, \text{ при } \tilde{a} > 0.$$

4. Деление:

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} : (b, \chi, \delta)_{RL} \cong \left(\frac{a}{b}, \frac{\delta a + \alpha b}{b^2}, \frac{\chi a + \beta b}{b^2} \right)_{LR},$$

при $\tilde{a} > 0, \tilde{b} > 0$.

Для простоты расчетов, обычно, левый (α) и правый (β) коэффициенты нечеткости берут одинаковыми. Это позволяет делать все расчеты относительно одного из коэффициентов нечеткости (например, относительно левого коэффициента нечеткости), и результат симметрично отображать, относительно моды нечеткого числа LR -типа, для другого коэффициента нечеткости (правого коэффициента нечеткости).

В нефтегазовой отрасли применение нечетких чисел находит применение в расчетах, где часть исходных данных или даже все данные плохо определены – размыты, нечетки (могут быть определены экспертно и только примерно). Это имеет место, например, при расчете показателей экономической эффективности нефтегазовых инвестиционных проектов. Так, при расчете чистого дисконтированного дохода (ЧДД) часть его составляющих показателей может быть рассчитана точно, а часть из них точно определить не представляется возможным [6.17, 6.21].

Значения параметров, точно определить которые не представляется возможным, могут быть представлены нечеткими числами LR -

типа, выражающие субъективные оценки экспертов, и к ним могут быть отнесены следующие параметры:

1. *Объем добычи (нефти) газа.* На стадии принятия решения о реализации проекта объем добычи нефти или газа является неизвестным параметром, ведь любая оценка запасов полезных ископаемых является оценочной, и соответственно в ходе реализации проекта, эта величина может меняться.

2. *Ставка (норма) дисконта.* Ставка (норма) дисконта отражает стоимость капитала в стране на текущий момент времени. С изменением рыночной конъюнктуры, политики ЦБ, налоговой политике и прочих рыночных инструментов изменяется и ставка дисконта.

3. *Цена продукции.* Цена, по которой будет реализовываться продукция (в нашем примере это газ), также зависит от рыночной конъюнктуры, и также постоянно меняется во времени.

4. *Налог на прибыль.* Налог на прибыль устанавливается государством, и так как сроки реализации проектов в нефтегазовой области могут составлять до 20 лет и более, то соответственно и налог на прибыль за этот срок может меняться как в большую, так и меньшую сторону.

5. *Средняя заработная плата 1 человека.* С учетом инфляции, прибыли компании, изменения законодательства, деятельности профсоюзов, средняя заработная плата может меняться.

Естественно, что и другие параметры, необходимые для расчета критериев эффективности проекта могут быть представлены, как нечеткие числа – все зависит от условий составления и реализации проекта и может составить существенную часть анализа исходных данных и всего проекта в целом. СППР выполняет все необходимые расчеты с нечеткими LR -числами, а руководители, в зависимости от ситуации, задают те или иные параметры критериев эффективности как четкие или как нечеткие.

При оценке рисков проекта нечеткими числа LR -типа также находят свое применение. Так при оценке практически всех видов рисков также имеется определенная субъективность - часто используется метод экспертных оценок, заключающийся в том, что каждому показателю, характеризующему определенный вид риска, присваивается некоторое количество баллов (оно может быть определено, например, с помощью базовой шкалы). При этом каждый из показате-

лей в системе оценки имеет свой вес, соответствующий его значимости. Затем полученные в процессе экспертизы баллы суммируются по всем показателям с учетом весовых коэффициентов и образуется обобщенная оценка данного вида риска по залежи, месторождению, региону и т.д.:

$$R_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot r_{ij},$$

где R_j - обобщенная оценка риска j -го вида;

b_{ij} - весовой коэффициент i -го показателя риска j -го вида;

r_{ij} - значение i -го показателя риска j -го вида;

$i=1, 2, \dots, n$,

n -число показателей.

Очевидно, что r_{ij} , b_{ij} и R_j могут быть также интерпретированы как нечеткие числа LR -типа.

Нечеткие числа находят применение и при решении оптимизационных задач принятия решений. В частности в [6.23] рассматривается модель оптимизации формирования портфеля инвестиционных проектов нефтегазовых объектов – ищется доля участия x_i нефтегазовой компании в i -м проекте в условиях ограничения на риски ее участия в нем и максимизации доходности инвестиционных проектов. При этом доходность проектов вычисляется как суммарный ЧДД по проектам. В силу причин, рассмотренных выше, ЧДД вычисляется как нечеткое число. В [6.16] рассматривается модель оптимизации текущего планирования нефтеперерабатывающего предприятия, в которой решением задачи (объем выпуска различных видов продукции – выход бензина, керосина, гудрона и др.) является нечеткий вектор LR -типа (см. ниже). В [6.21] нечеткие числа используются также для прогнозирования (нечеткая регрессионная модель) и оптимизации (нечеткая модель динамического программирования) капитальных вложений в производственно-техническое обслуживание объектов нефтегазового производства; в [6.12] они используются в расчетах разрывов газоконденсатопровода, нечеткого решения уравнения Бакли-Лаверета, в подсчетах запасов нефти и газа и др.; в [6.24, 6.25] нечеткие модели принятия решений в иерархических системах газодобычи и оперативного управления магистральными газопроводами в осложненных условиях; работы [6.18-6.20] рассматри-

вают модели нечеткой оптимизации работы ректификационной колонны, установок каталитического крекинга, модели нечеткой логики (см. ниже), а также общие вопросы применения систем искусственного интеллекта в нефтегазопереработке.

Однако, использование нечетких множеств "в чистом виде" связано с достаточно громоздкими вычислениями и неудобно для восприятия. В то же время содержательно аппарат нечетких множеств представляет собой очень ценный аппарат для выражения приближенных и субъективных оценок.

Для сохранения всего ценного, что дают нечеткие множества, и устранения их недостатков были введены лингвистические переменные. Лингвистические переменные легко воспринимаются человеком, они являются дальнейшим обобщением нечетких множеств и позволяют отображать нечеткие множества в множества действительных и целых чисел.

3. *Лингвистической называется переменная* [6.12], которая задается на некоторой количественной шкале и принимает значения в виде слов и словосочетаний естественного языка. Лингвистические переменные служат для качественного словесного описания некоторой количественной величины. Любая лингвистическая переменная и все ее значения связаны с конкретной количественной шкалой. Эта шкала иногда называется базовой шкалой (см. [6.7]).

Формально лингвистическая переменная – это набор:

$$(L, T, X, G, M),$$

где

L – название переменной; T – множество ее значений (или термов), представляющих собой наименования нечетких переменных со значениями из универсального множества X ; G – синтаксическая процедура (грамматика) образования, осмысленных для данной задачи значений лингвистической переменной исходя из ее терм множества; M – семантическое правило для присвоения значения элементам T (позволяет превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образуемое процедурой G в нечеткую переменную.

Например, пусть эксперт определяет дебит скважины с помощью понятий «малый дебит», «средний дебит», «большой дебит», при этом минимальный дебит равен 10 т/сут., а максимальный 100т/сут.

С учетом введенных выше обозначений: L – дебит скважины; T – («низкий дебит», «средний дебит», «высокий дебит»); X – $[10, 100]$; G – процедура образования новых термов с помощью связок «и», «или» и модификаторов типа – «очень», «не», «не совсем» и др. Например: «очень или не очень высокий дебит», «очень низкий дебит» и др.; M – процедура задания X – $[10, 100]$ нечетких подмножеств A_1 = «низкий дебит», A_2 = «средний дебит», A_3 = «высокий дебит», а также нечетких множеств для термов $G(T)$ в соответствии с правилами трансляции нечетких связок и модификаторов «и», «или», «не», «очень» и др. операции над нечеткими множествами: объединения, пересечения концентрации, растяжения и др. Надо сказать, что лингвистические переменные являются основными элементами нечеткой логики и нечетких алгоритмов.

4. *Нечеткая логика* [6.12, 6.15], как следует из названия, предполагает неточные, приблизительные, примерные, в большинстве случаев субъективные оценки протекания процессов, описания объектов, т.е. оценки, которые приходится давать в тех случаях, когда точное измерение невозможно.

Говоря о нечеткой логике, обычно имеют в виду использование лингвистических переменных, нечетких множеств и набор операций над элементами нечетких множеств и самими нечеткими множествами. Нечеткой логике посвящено огромное количество работ. Например [6.12-6.25]. В нечеткой логике широко применяются разнообразные кванторы. Например, «несколько», «обычно», «главным образом» и т.д. (В четких системах только два квантора: существования и всеобщности).

Другими словами, нечеткая логика используется тогда, когда истинность и/или ложность некоторого утверждения определены в семантическом интервале.

Также как в двузначной логике, где базовыми являются три операции «и», «или», «не», в нечеткой логике базовыми являются также три операции над лингвистическими переменными «мягкое и» – операция пересечения, «мягкое или» – операция объединения, «мягкое не» – операция дополнения. На основании этих операций строятся как безусловные, так и условные утверждения, которые, в конечном счете, представляют собой нечеткие алгоритмы.

В силу объективных (природных) условий разработки нефтегазовых месторождений и изложенного выше для моделирования месторождений углеводородов успешно применяются методы нечеткой логики [6.25], а также для (уже упоминавшихся выше) задач принятия решений в иерархических системах газодобычи и оперативного управления магистральными газопроводами в осложненных условиях [6.24]; работы [6.18-6.20] рассматривают не только (см. выше) модели нечеткой оптимизации работы ректификационной колонны, установки каталитического крекинга, но и задачи моделирования технологических процессов нефтепереработки методами нечеткой логики, в частности приготовление бензинов, дизельных топлив различных марок и др.

5. *Нечеткий алгоритм* [6.12-6.15]. Неформально нечеткий алгоритм есть упорядоченное множество нечетких инструкций, которые при их реализации дают решение проблемы. Инструкции в нечетких алгоритмах подразделяются на три типа: назначающие (например, $X =$ не большой и не очень малый); нечеткие высказывания (например, X маленький, тогда Y большой, иначе Y не очень большой); безусловные активные инструкции (например, уменьшить X слегка и идти к 5; умножить X на Y).

Инструкции выполняются в соответствии с композиционным правилом вывода, которое (аналогично нечеткому множеству, переменной, логике) является обобщением классического правила в традиционной логике на нечеткие утверждения. В настоящее время о реальных результатах применения нечетких алгоритмов в задачах управления нефтегазовым производством пока рано.

В. Модели нечеткого математического программирования

[6.7, 6.18-6.23]

В общем виде задача нечеткого математического программирования формулируется следующим образом – найти такой вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, для которого

$$\tilde{\Phi} = \tilde{f}(x) \rightarrow \max$$

при условиях $\tilde{\varphi}_i(x) \subseteq \tilde{B}_i$, $i = \overline{1, m}$, $x \in X$, где \tilde{f} и $\tilde{\varphi}_i$ – нечеткие функции; \max – нечеткий максимум; \tilde{B}_i – нечеткие числа.

Отметим, что различают следующие виды нечеткой функции: нечетко ограниченная функция; нечеткое рассмотрение четкой функции; нечеткая функция от нечетких переменных; четкая функция от нечетких переменных.

Если нечеткие функции $\tilde{f}(x)$ и $\tilde{\varphi}_i$ представляют собой нечеткое расширение четкой функции, то есть являются обычными функциями, но с нечеткими коэффициентами или переменными, тогда сформулированная задача представляет собой задачу нечеткого математического программирования.

В зависимости от вида функций $\tilde{f}(x)$ и $\tilde{\varphi}_i$ различают следующие задачи:

- оптимизация с нечеткими отношениями;
- оптимизация с нечеткой целью;
- оптимизация с нечеткими ограничениями;
- оптимизация с нечеткой целью и нечеткими ограничениями.

Если же переменные x представляют нечеткие числа, а функции $f(x)$ и $\varphi(x)$ - четкие, то задача нечеткого математического программирования является задачей оптимизации с нечеткими числами. Пример одной из таких задач – это модель оптимизации текущего планирования нефтеперерабатывающего предприятия, в которой решением задачи (объем выпуска различных видов продукции – выход бензина, керосина, гудрона и др.) является нечеткий вектор LR -типа, то есть искомые переменные представляются нечеткими числами LR -типа.

В этом случае решение исходной нечеткой оптимизационной задачи, в общем случае, сводится к решению трех четких традиционных задач математического программирования, решаемых относительно мод, левых и правых границ нечетких переменных x , представляемых нечеткими числами LR -типа, то есть оптимальное решение есть [6.16]:

$$X^*_{LR} = (X^*, X^*_{-}, X^{*/}, X^*_{+}, X^{*/}),$$

где

X^* - оптимальное решение задачи относительно моды нечеткого вектора X^*_{LR} ;

$X^{*/}$ - оптимальное решение относительно левой границы вектора X^*_{LR} ;

X^{LR*} - оптимальное решение относительно правой границы вектора X^*_{LR} ;

Оптимизация с нечеткими отношениями

Требуется найти

$$\Phi = f(x) \rightsquigarrow \max$$

при ограничениях:

$$\varphi_i \lesseqgtr B_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad x \in X,$$

Здесь \lesseqgtr - нечеткое отношение.

Решение этой задачи ищется на основе следующего подхода.

Пусть Φ_0 - значение критерия $f(x)$, достижение которого считается достаточным для выполнения цели, тогда можно ввести некоторые d и l_i - пороговые уровни такие, что выполняются неравенства:

$$\begin{aligned} f(x) &\leq \Phi_0 - d \\ \varphi_i(x) &\geq B_i + l_i \end{aligned}$$

которые означают сильное нарушение неравенств

$$\begin{aligned} f(x) &\geq \Phi_0, \\ \varphi(x) &\leq B \end{aligned}$$

определяющих возможные варианты решения задачи.

При таком подходе возможно для критериев оптимальности и ограничений ввести функции принадлежности решения x к допустимому и оптимальному решению. В результате исходная задача оканчивается сформулированной в форме задачи достижения нечетко определенной цели при нечетких ограничениях и для ее решения может быть применен подход Белмана-Заде [6.7].

К такого рода задачам в силу особенностей нефтегазодобывающего производства можно отнести: планирование геофизических исследований скважин (ГИС), техническое обслуживание и ремонт различных технологических объектов, оптимизация выбора стратегий их проведения, выбора оптимальных комплексов ГИС, расчет равновесных цен на проведение ГИС, распределение ГИС и ТОР по плановым периодам, выбор вариантов проектов разработки месторождений, а также другие задачи оптимизации выбора вариантов проектов, в том числе: распределение капиталовложений в производственно-техническое обслуживание, распределение трудовых ресурсов промысловых и геофизических предприятий [6.26] и многие др.

В общем виде они могут быть записаны в виде следующей оптимизационной задачи [6.7, 6.26]:

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \quad (6.1)$$

$$\sum_i \sum_j a^h_{ij} x_{ij} \leq A^h \quad (6.2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad (6.3)$$

$$\sum_j x_{ij} \geq 1 \quad (6.4)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1, \quad (6.5)$$

где:

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } j\text{-й вид работ (вариант разработки месторождения} \\ & \text{комплекс ГИС, ТОР и др.) назначается на } i\text{-й вид объектов,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

a_{ij}^h – количество ресурсов h -го типа, необходимое для проведения j -го вида работ на i -ом виде объектов;

A^h – количество ресурса h -го типа, (время работы МТР, ремонтных бригад, стоимость работ и т.п.), имеющееся в системе (например, нефтегазодобывающем управлении, экспедиции, компрессорной станции и др.);

C_{ij} – обобщенная (комплексная) эффективность применения j -го вида работ на i -ом виде объектов.

Известно, что «четкий» вариант задачи (6.1)-(6.5) хорошо решается методом «ветвей и границ» или с помощью L -алгоритма предложенного в [6.26]. При этом лишь некоторое исключение представляет собой задача распределения ГИС и ТОР по плановым периодам, имеющая в своем составе отличный от (6.1) вид критерия оптимальности, особенность которого состоит в том, что заранее, до начала решения задачи невозможно иметь значения C_{ij} (они вычисляются в ходе решения задачи).

Однако, для всех перечисленных в начале этого раздела задач общими характерными моментами является то, что 1) правые части ресурсных ограничений представляют собой некоторые средние значения полученные, например, в результате применения моделей тео-

рии массового обслуживания), значения коэффициентов C_{ij} , тоже как правило, носят качественный (приближенный) характер и получают-ся в результате качественного экспертного анализа) [6.26]. Поэтому здесь имеется три альтернативных подхода для выбора методов (алгоритмов) решения этих задач.

Первый подход основан на том, что значения коэффициентов a_{ij}^h , C_{ij} , A^h считаются «хорошо» определенными и для решения задачи применяются упомянутые выше метод "ветвей и границ" или L -алгоритм [6.26].

Второй подход основан на том, что a_{ij}^h , C_{ij} , A^h имеют статистическую неопределенность. Тогда задача (6.1)-(6.5) становится M -задачей стохастического математического программирования, методы и трудности решения которой также хорошо известны.

Наконец, третий рассматриваемый здесь подход может быть основан на том, что неопределенность коэффициентов C_{ij} в большей степени связана с не достаточностью информации и не носит ярко выраженной статистической неопределенности. В свою очередь можно допустить, так же, что при решении задачи (6.1)-(6.5) ресурсные ограничения могут выполняться лишь с определенной степенью точности, например в пределах среднеквадратического отклонения (или в пределах заданных экспертным путем, что в практической ситуации бывает достаточно часто).

Учитывая это, задача (6.1)-(6.5) может быть интерпретирована как обобщенная распределительная задача с нечетко поставленной целью и ограничениями. В отличие от традиционных задач математического программирования она имеет четкие структурные ограничения (6.3)-(6.4), определяющие структуру решения (правила присвоения булевым переменным значений 0 или 1) и нечетко (примерно) выполняемые ресурсные ограничения (6.2).

В общем случае структурные ограничения могут быть четырех видов:

$$\begin{array}{cccc}
 1) \sum_i x_{ij} = 1, & 2) \sum_i x_{ij} = 1, & 3) \sum_i x_{ij} \geq 1, & 4) \sum_i x_{ij} \geq 1, \\
 \sum_j x_{ij} = 1, & \sum_i x_{ij} \geq 1, & \sum_i x_{ij} = 1, & \sum_i x_{ij} \geq 1, \\
 i = j. & i < j. & i > j. & i, j - \text{любые.}
 \end{array}$$

Рассматриваемая задача выбора вариантов проектов (обобщенная распределительная задача) со структурными ограничениями вида 1), 2) и 3) может быть решена с помощью нечеткого метода «ветвей и границ» или L-алгоритм нечеткой дискретной оптимизации, разработанных в [6.26]. Для решения же рассматриваемой задачи со структурными ограничениями вида - 4) необходимо применение методов случайного поиска (генерации) решений, включая генетические алгоритмы.

Оптимальное решение задачи (6.1)-(6.5) определяется следующим образом [6.26].

Будем использовать для обозначения решения задачи (6.1)-(6.5) множество:

$$X_l = \{x_{ij} : x_{ij} = 0 \vee 1, \sum_j x_{ij} = 1, \sum_i x_{ij}\} \quad (6.6)$$

где: $l = 1, 2, 3, \dots$ – номер варианта решения задачи, в той или иной степени удовлетворяющие ограничению (6.2);

$X_l \in X$, где X – множество всех альтернатив, допустимых с точки зрения выполнения ограничений (6.3)-(6.4) и в той или иной степени удовлетворяющие ограничению (6.2) и доставляющих \max (\min) значению критерию оптимальности (6.1).

Здесь отметим, что в зависимости от конкретного смысла решаемой задачи ограничения (6.3) - (6.4) могут иметь один из четырех указанных выше видов и, соответственно, таким же образом меняется выражение (6.6).

Степень выполнения ограничения (6.2) в общем случае будет характеризоваться функцией принадлежности:

$$\mu_Q^h(X) = \begin{cases} 0, & \text{при } \varphi(X_l) \geq A^h, \\ \varphi(X_l, B), & \text{при } A^h < \varphi(X) < A^h, \\ 1, & \text{при } \varphi(X) \leq A^h. \end{cases} \quad (6.7)$$

Конкретный вид $\mu_Q^h(X_l)$ может быть следующий:

$$\mu_Q^h(X_l) = ((Q^{h*} - Q^h(X_l)) / (Q^{h*} - A^h)) \quad (6.8)$$

где: Q^{h*} – максимально допустимое значение левой части ограничения (6.2);

$Q^h(X_l)$ – значение левой части ограничения (6.2), вычисленное при X_l – альтернативе.

Качество получаемого решения, т.е. степень достижения критерием оптимальности (6.1) своего экстремального значения, будет в общем случае характеризоваться функцией принадлежности вида:

$$\mu_F(X) = \begin{cases} 0, & \text{при } F(X_l) \leq z_0 - g, \\ \mu(X_l, g), & \text{при } z_0 - g < F(X_l) < z_0, \\ 1, & \text{при } F(X_l) \geq z_0. \end{cases} \quad (6.9)$$

Конкретно $\mu_F(X_l)$ может быть линейной :

$$\mu_F(X_l) = (F(X_l) - F_{min}) / (F_{max} - F_{min}) \quad (6.10)$$

для максимизируемого критерия и

$$\mu_F(X_l) = (F_{max} - F(X_l)) / (F_{max} - F_{min}) \quad (6.11)$$

для минимизируемого критерия, а также экспоненциальной, гиперболической или обратной гиперболической.

Введя понятие решения задачи X_l и его функции принадлежности, нечеткое и максимизирующее решение задачи определяется посредством применения операции Белмана-Заде к каждой альтернативе X_l на всем множестве альтернатив X , т.е.:

$$\mu_D(X_l) = \min_{X_l \in X} \{ \mu_F(X_l), \mu_Q^h(X_l) \} \quad (6.12)$$

где $l=1,2,3 \dots L$ и L – общее число альтернатив, определяемое числом решений задачи, удовлетворяющим ограничениям (6.3)-(6.4).

Для максимизирующего (четкого) решения:

$$\max_{X_l \in X} \mu_D(X_l^*) = \max_{X_l \in X} \min \{ \mu_F(X_l), \mu_Q^h(X_l) \} \quad (6.13)$$

где X_l^* – четкое максимизирующее решение.

Для поиска оптимального решения рассматриваемой задачи могут быть использованы несколько видов алгоритмов: нечеткий метод ветвей и границ, случайный поиск с локальной оптимизацией, генетический алгоритм [6.26].

Оптимизация при нечетких ограничениях формулируется следующим образом, найти $\max f(x)$ при ограничениях

$$\tilde{\varphi}_i(x) \subseteq \tilde{B}_i, i = \overline{1, m}; x \in X, \text{ где } x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Для решения этой задачи используется метод, основанный на замене нечетких множеств множествами α -уровня (четкими множествами).

Множеством α -уровня нечеткого множества A в X называется множество элементов $x \in X$, степени принадлежности которых нечеткому множеству A не меньше числа α , т.е. если A_α - множество α -уровня нечеткого множества A , то

$$A_\alpha = \{ x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha \}$$

Отметим, что любое нечеткое множество может быть представлено объединением своих α -уровневых множеств по всем $\alpha \in [0,1]$.

Тогда для решения исходной задачи достаточно решить задачу

$$\Phi = f(x) \rightarrow \max$$

при ограничениях $\varphi_i^\alpha \leq B_i^\alpha, x \in X$, представляющую собой задачу классического математического программирования на α -уровне.

В общем случае исходная задача сводится к решению бесконечного множества классических задач оптимизации известными методами, хотя обычно на практике она сводится к решению нескольких задач (по количеству α -уровней), например классического линейного программирования [6.18-6.20].

Оптимизация с нечеткой целью

Формируется следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi} &= \tilde{f}(x) \rightarrow \max, \\ \varphi(x) &= 0; x \in X. \end{aligned}$$

Для решения этой задачи используются α -уровневые множества нечеткой целевой функции. Любая нечеткая цель представляет собой нечеткое отношение предпочтения между элементами допустимой области, и, следовательно (доказано [6.18-6.20]), решение этой задачи сводится к решению задачи многокритериального принятия решений (число критериев равно количеству α -уровней $\alpha \in [0,1]$). Это значит, что для решения рассматриваемой задачи достаточно найти решение задачи:

$$f^{(\alpha)}(x) \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$\varphi(x) = 0; x \in X, \text{ где } \alpha \in [0,1], \mu_{\tilde{f}}(f) \geq 1 - \alpha,$$

представляющих собой многокритериальную задачу оптимизации.

В [6.18-6.20] доказано, что в линейном случае $\tilde{f}(x) = \vec{C} \rightarrow \max$ при ограничениях $\vec{A}(x) \leq \vec{B}; x \geq 0$ сводится к определению нечеткого множества $\tilde{f} = \sum_{i=1}^k \frac{\mu_i}{f^{a_i}} \in F(R^n)$, где $\alpha_i (i = \overline{0, k}) \in [0,1]$, $\mu_i \geq 1 - \alpha_i$,

т.е. к решению многокритериальной задачи:

$$f^{\alpha_0}(x) = c^{\alpha_0} \rightarrow \max$$

$$f^{\alpha_1}(x) = c^{\alpha_1} \rightarrow \max$$

...

$$f^{\alpha_k}(x) = c^{\alpha_k} \rightarrow \max$$

при ограничениях $\vec{A}(x) \leq \vec{B}; x \geq 0$.

Оптимизация с нечеткой целью и нечеткими ограничениями. очевидно, что в этом случае используя α -уровневый подход мы получаем сочетание двух предыдущих рассмотренных задач - задачу многокритериальной оптимизации и дополнительными ограничениями, определенными α -уровнями.

6.7. Основные понятия нейросетевых моделей [6.7,6.27, 2.28]

Нейронные сети. В последние годы искусственные нейронные сети вызывают повышенный интерес у специалистов различных специальностей и находят применение в разнообразных областях науки, техники и бизнеса. Достоинствами искусственных нейронных сетей являются: а) адаптивная структура, которая получает информацию, обучается и фиксирует полезные связи в сложном взаимодействии входной и выходной информации, б) возможность работы с сильно зашумленными данными, в) одновременное и быстрое выполнение многочисленных идентичных и независимых операций.

Традиционно нейрон описывается в терминах, заимствованных из физиологии. Согласно этим представлениям нейрон имеет несколько входов (синапсов), на которые поступают внешние воздействия x_i от рецепторов и других нейронов. Он умножает значение

входного воздействия на весовой коэффициент α_{ij} (проводимость синапса), суммирует взвешенные входы и начальную константу и подает их на выход s_j . Таким образом, $s_j = \sum \alpha_{ij}x_i + \alpha_{0j}$. Эту функцию часто называют адаптивным сумматором из-за наличия вектора настраиваемых параметров α . Обычно считается, что на выходе нейрона имеется нелинейный преобразователь выходного сигнала $\varphi(s)$. То есть нейрон - это последовательное соединение адаптивного сумматора с нелинейным преобразователем.

Наиболее распространенные функции $\varphi_i(s)$:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-ks}}, \quad y = s(1 + k|s|) \quad (k > 1, |s| - \text{абсолютная величина } s),$$

$$y = s \frac{x}{c + |x|}, \quad y = s|x|, \quad y = sx^2, \quad y = th(x) \text{ и т.д.}$$

Эти функции подбираются так, чтобы они, с одной стороны, сами уже обладали достаточно сложными и интересными свойствами, с другой – их можно было бы достаточно просто комбинировать для аппроксимации еще более сложных функций. При этом оказывается, что очень трудно или даже невозможно предложить единую систему стандартных функций, пригодную на все случаи – для каждой области приложений обычно выбирается своя функция.

Хотя одноэлементные нейронные системы имеют достаточно широкую область применения, обычно говорят о нейронных сетях. Искусственная нейронная сеть построена из нейронов, связанных друг с другом. Организация (топология) сети может быть различной. Если не все составляющие ее нейроны являются входными или выходными, говорят, что сеть содержит скрытые нейроны. Слой, состоящий из скрытых нейронов, называется скрытым слоем. Скрытых слоев может быть несколько.

В сети нейроны располагаются в несколько слоев. Нейроны первого слоя получают входные сигналы, преобразуют их и передают нейронам второго слоя. Необходимо заметить, что выходной сигнал из любого нейрона может быть передан нескольким другим нейронам. Для этого на выходе нейрона имеются так называемые точки ветвления.

Далее срабатывает второй слой и т.д. до k -го, который выдает выходные сигналы. Число нейронов в каждом слое может быть любым и никак заранее не связано с количеством нейронов в других слоях. Широкое распространение получили трехслойные сети. В них каждый слой имеет свое наименование: первый – входной, второй – скрытый, третий – выходной.

Использование нейронной сети (и одноэлементного нейрона) состоит из трех этапов: обучения, проверки и функционирования.

Субъективность представления специалиста сказывается в первую очередь на подборе обучающего и контрольного множеств. От характера подобранных множеств зависят результаты работы нейронной сети.

Обучение нейронной сети обычно рассматривается как решение оптимизационной задачи: минимизация функции ошибки или невязки $\bar{\varepsilon}$ на данном множестве примеров путем выбора значений весов α_{ij} . Разработано очень много обучающих алгоритмов, отличающихся друг от друга стратегией оптимизации и критерием ошибки (функцией). Выбор алгоритма обучения также зависит от знаний и опыта специалиста. Наиболее распространенным алгоритмом обучения нейронных сетей с прямой связью является алгоритм обратного распространения ошибки (Backpropagation - BP). На этапе проверки достоверности работа сети сравнивается с данными контрольного множества. Желательно, чтобы они полностью отличались от применявшихся на предыдущем этапе.

Описанные выше отдельные элементы нейронных сетей (синапсы, сумматоры, нелинейные элементы) ни в аппаратной реализации, ни в профессиональном программном обеспечении, вовсе не обязательно реализуются как отдельные части или блоки. Они представляют собой особый язык для представления нейронных сетей и их обсуждения. При программной и аппаратной реализации выполненные на этом языке описания переводятся на языки другого уровня, а алгоритмы могут быть описаны в традиционной математической нотации.

6.8. Экспертные системы и элементы теории графов в формировании (генерации) решений

А. Когнитивные карты [6.28, 6.29]

Когнитивная карта (карта познания) это вид математической модели, представленный в виде графа, позволяющей описывать субъективное восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта, проблемы или функционирования системы.

Когнитивная карта предназначена для выявления структуры причинных связей между элементами системы, сложного объекта, составляющими проблемы и т.п. и оценки последствий, происходящих под влиянием воздействия на эти элементы или изменения характера связей.

В каком-то смысле можно сказать, что когнитивная карта это субъективная модель восприятия человеком частицы мира, с помощью которой он хочет осознать закономерности этой частицы, не вдаваясь в подробности, так как они чрезвычайно осложняют картину и затрудняют восприятие.

Теория графов предоставляет средства отображения структуры причинно- следственных связей: это пути, циклы и компоненты. Они оказываются полезными для анализа сложных структур взаимозависимостей. Эти три объекта могут вступать друг с другом в некоторые отношения, и каждое отношение может быть характеризовано как положительное или отрицательное, например, согласен или не согласен, любит или не любит.

Элементы изучаемой системы или объекта называются концептами. Концепты в графе представляются вершинами, причинно-следственные связи - направленными дугами, связывающими концепты. Такой графический вид представления изучаемого объекта называется когнитивной картой.

Политические альтернативы, разнообразные экономические причины и эффекты, цели и необходимые средства их достижения могут рассматриваться как переменные концептов. В этом случае на когнитивной карте они представляются вершинами. Их влияние друг на друга обозначаются на когнитивной карте направленными дугами, как мы потом увидим, с навешанными на них знаками. Знаки определяют характер влияния. Такой граф называется знаковым графом.

Популярность когнитивных карт объясняется относительной легкостью представления причинных связей (отношений) между концептами и общей структуры изучаемого объекта.

Как уже отмечалось, когнитивная карта содержит элементы двух типов: концепты и причинные связи. Концепты рассматриваются как переменные когнитивной карты, а причинные связи как отношения между каждой парой переменных. Эти отношения причинности могут иметь различные значения. Основные значения - положительное, отрицательное и ноль. Поясним это часто используемым примером. При положительном значении тех двух переменных, которые она связывает, изменения происходят в одном направлении (не обязательно со знаком плюс). Так увеличение числа заводов вызывает рост потребления энергии, оно также значит, что сокращение числа заводов должно привести к уменьшению потребления энергии.

При отрицательном значении отношения причинности увеличение значения одной из переменных, связанных этим отношением, вызывает уменьшение значения другой (и наоборот). То есть их изменения происходят в противоположных направлениях. Так при отрицательном отношении причинности увеличение цены на энергию приводит к сокращению ее потребления и, соответственно, уменьшения цены к увеличению потребления энергии. Нулевое отношение причинности показывает, что связи между двумя концептами нет.

Структуру когнитивного графа лучше всего представить в виде направленного графа, в котором вершины являются концептами (переменными концептов), а дуги выражают отношения причинности. Дуги могут помечаться знаками "+", "-" или 0, что означает соответственно положительное, отрицательное или нулевое причинное отношение.

Как уже отмечалось ранее, направленный граф с перечисленными выше метками, которыми помечаются его дуги, называется знаковым графом.

Во многих случаях причинный концепт, из которого выходит дуга, является одновременно и концептом результата, т.е. в него входит дуга выходящего из другого причинного концепта.

При поддержке принятия решений, как уже говорилось выше, описанные традиционные когнитивные карты используются в основном, для прогноза и оценки взаимовлияния концептов друг на друга.

А именно, по ней можно определить, что произойдет с системой, если изменится состояние любого или любых концептов, не станут ли некоторые концепты неприемлемыми в контексте реальных объектов предметной области. Данная задача получила название «анализа устойчивости когнитивной карты» (определения совместного консонанса).

Решение этой задачи основывается на следующих посылах. Во многих случаях причинный концепт (из которого выходит дуга) одновременно является и концептом результата. То есть в него входит дуга выходящего из другого причинного концепта. Устойчивость когнитивной карты определяется характером обратных связей. В цикле существует положительная (отрицательная) обратная связь. Положительная обратная связь может существенно усилить первоначальное изменение причинного концепта. Наличие нескольких положительных циклов может привести к нестабильности системы. Отрицательные обратные связи часто ведут к стабилизации системы, однако могут вызвать ее «колебания». Качественное же влияние одного концепта на другой можно определить как сумму обратных связей в циклах на всем пути между данными концептами.

Общие правила определения путей в когнитивной карте следующие:

- в цикле существует положительная и обратная связь, если в ней четное число знаков «-» или их нет, и отрицательная, если число дуг со знаком «-» - нечетное;

- общая обратная связь между двумя концептами есть сумма обратных связей в циклах на всем пути между ними (даже если это один и тот же концепт).

Система является устойчивой, если значения концептов (переменных характеризующих концепты), на которые не оказывают влияния внешние воздействия, не изменяются под влиянием любых изменений значений одной или нескольких переменных, вызванных воздействием внешних причин.

Переменная является стабильной начальной переменной, если резкое увеличение ее значения не приведет к увеличению значений других переменных системы.

Как правило, стабильными оказываются те начальные переменные, которые не влияют на другие переменные либо непосредственно влияют на те, которые не влияют на другие.

Другими словами когнитивные карты позволяют оценить возможные последствия решений и определить, могут ли эти решения дестабилизировать систему, и какие качественные изменения произойдут в концептах после того, как эти решения будут выполнены.

Описанная работа по генерации вариантов (сценариев) решений с помощью когнитивных карт, сводится к перебору дуг графовой структуры, описывающей исследуемую проблему. Однако такому способу генерации решений с помощью традиционных когнитивных карт присущ ряд существенных недостатков:

- бедность изобразительных средств;
- отсутствие возможности моделирования временных параметров выполнения операций;
- отсутствия возможности различения последовательности и параллельности влияния или выполнения учитываемых факторов;
- отсутствие возможности определить и ранжировать по степени влияния положительные и отрицательные тенденции, особенно в условиях многоцелевого задания критериев;
- неизвестность (незнание) внутренней структуры концептов карты не в контексте их возможной декомпозиции на составляющие, а с точки зрения наблюдаемого поведения и учета ситуационных аспектов когнитивной структуры, порождающих мотивационные действия.

Поэтому, в сложных описанных ситуациях применяется аппарат экспертных систем и порождающие грамматики (см. ниже), а также обобщенные нечеткие когнитивные карты [6.29].

В нечеткой когнитивной карте каждая дуга определяет не только направление и характер, но также и степень влияния (вес) связанных концептов. В зависимости от подхода вместо знаков дуг между концептами используют отношения, значения которых могут лежать на отрезке $[-1, 1]$, либо нечеткие или лингвистические переменные. На основе описания, с помощью аппарата нечеткой матричной регулярной алгебры и оценки казуальных (причинных) влияний концептов друг на друга могут быть получены основные системные показатели когнитивной карты, по которым определяется взаимный консонанс,

диссонанс, положительное и отрицательное влияние концептов и в целом системы. Подробно теория и применение нечетких когнитивных карт рассмотрены в [6.29].

Несколько слов о групповом построении когнитивных карт. Как всегда в принятии групповых решений проблема заключается в согласовании решений. Исключением является вариант, когда лидер принимает решение, а остальные участники выработки решения выступают фактически в роли советчиков без права решающего голоса.

При построении когнитивных карт такое согласование сводится к трем вопросам:

1. согласование списка концептов;
2. согласование отношений причинности между ними;
3. согласование значений отношений причинности.

Для решения всех этих вопросов может быть использованы хорошо известные процедуры работы с экспертами, в частности, процедуры голосования или формализованные процедуры.

Какая бы процедура не использовалась, в результате должен быть получен список концептов (вершин знакового графа), список отношений причинности (дуг графа) и список значений отношений причинности каждой дуги. Таким образом, задача сводится к построению когнитивной карты руководителей.

Таким образом, с помощью когнитивных карт определяются основные факторы, влияющие на решение проблемы и их причинно-следственные связи. Система поддержки принятия решений становится инструментом, облегчающим содержательный анализ этих связей, степень влияния различных факторов друг на друга и на систему в целом и помогающим эксперту или руководителю неформальными методами выработать решение на основе проведенного анализа.

Формирование когнитивной карты может стать также и исходными данными для последующих этапов генерации решения.

В. Экспертные системы [6.28]

Метод когнитивных карт, рассмотренный в разд. 6.2, позволяет перечислить действия (операции), которые могут оказать влияние на проблему. Перечисляя эти действия, он рассматривает их как атомарные, неделимые. В действительности, они в большинстве случаев

состоят из некоторой последовательности шагов, которые могут быть выполнены при определенных условиях.

Определение последовательности шагов в соответствии со сложившимися условиями может быть выполнено экспертной системой. Являясь вполне самостоятельным средством в системе поддержки принятия решений, она может эффективно взаимодействовать с когнитивными картами.

Экспертные системы (ЭС) сформировались в самостоятельное научное направление в начале восьмидесятых годов на основе исследований по искусственному интеллекту. Цель создания экспертных систем заключается в разработке программ, которые, используя знания, полученные от экспертов в данной предметной области, решают те же проблемы (отсюда и название ЭС).

Экспертные системы, использующие эвристические знания, применяются в тех случаях, когда сформировать решение задачи в традиционных математических терминах в виде систем уравнений не удается. Такие задачи получили название плохо формализованных (или слабо структурированных) задач. Эти задачи обладают одной или несколькими из следующих особенностей [6.28]:

- задачи не могут быть заданы в числовой форме;
- цели не могут быть выражены в терминах точно определенной целевой функции;
- не существует алгоритмического решения задачи;
- алгоритмическое решение существует, но его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов вычислительных машин.

Экспертные системы отличаются от систем обработки данных тем, что в них в основном используется символьный, а не числовой способ представления, символьный вывод и эвристический поиск решения.

Перечисленные свойства экспертных систем позволяют использовать их для генерации решений, основанных на эвристических знаниях и предпочтениях эксперта или руководителя.

В нефтегазовой отрасли для генерации и выбора решений ЭС нашли широкое применение в системах интерпретации данных каротажа нефтяных скважин, при бурении нефтяных и газовых скважин для выявления причин и возможных решений при прихвате инструмента, выборе бурового раствора, выборе и применении химических

нефтяных дисперсантов, проектировании современных морских эксплуатационных установок для добычи нефти и газа, диспетчерском управлении газотранспортными системами [6.30], при выборе геолого-технических мероприятий [6.31], классификации нефтяных и газовых скважин [6.26], и др.

Предметом теории экспертных систем служат методы и приемы конструирования человеко-машинных систем, "компетентных" в некоторой узкой специальной области. Эта компетентность состоит из "знания" конкретной области, понимания задач из этой области и из умения решать некоторые конкретные задачи в этой области.

Уже отмечалось, что для всех наиболее успешных применений экспертных систем характерна, по крайней мере, одна общая черта: они работают в одной ограниченной предметной области. Попытки расширить предметную область, даже в пределах одной области знаний (например, в медицине) в подавляющем большинстве случаев успеха не давали [6.7,6.28].

Именно в силу такой ограниченности экспертных систем они еще не нашли эффективного применения в тех прикладных областях, которые требуют широкого кругозора. В этом случае приходится идти на создание группы экспертных систем, каждая из которых решает свою узкую задачу по своим критериям оптимальности, а при выработке комплексного решения эти частные решения должны быть согласованы чисто формальными методами. Это создает большие затруднения.

Необходимо отметить еще одну отрицательную особенность экспертных систем: для создания эффективно решающих сложные проблемы требуются высококвалифицированные, часто уникальные специалисты. Поскольку большинство из них хотят остаться уникальными, своими алгоритмами решения сложных проблем, они делятся крайне неохотно, если вообще делятся.

В системах искусственного интеллекта, получающих в настоящее время все большее развитие, существенную роль играет представление знаний.

Представление знаний может быть определено как множество соглашений об описании каких-либо объектов. Знания о мире можно разделить на две категории: факты, указывающие, что истинно или было истинным, и правила (алгоритмы), позволяющие производить

оценку состояния объекта или предсказать изменение его состояния во времени в результате выполнения некоторой последовательности действий.

Факты представляются в ЭВМ в виде данных, а алгоритмы - в виде программ. Всегдашним стремлением программистов было отделить данные от программ. Именно это стремление определило появление баз данных и систем управления ими.

Развитие программирования позволило перейти к имитации интеллектуальных функций человека, позволяющих ему создавать программы решения конкретных задач. На этом этапе стало происходить, по крайней мере, частичное слияние данных с алгоритмами (программами) и создаваться “базы знаний”.

Сила экспертной системы заключается в базе знаний. При использовании баз знаний большого объема, а, тем более, при работе с взаимодействующими друг с другом базами знаний встают проблемы:

- приобретения и накопления знаний;
- обеспечения непротиворечивости и полноты знаний;
- необходимости манипулирования с большими базами знаний.

Естественно возникает проблема представления знаний, являющаяся одной из центральных проблем в создании и работе с экспертными системами.

Методы представления знаний традиционно разделяются на 4 класса: семантические сети, логические подходы, фреймы и системы продукций. Это подразделение носит несколько условный характер, так как в реально работающих системах часто используют различные классы представления знаний. Методы представления знаний рассмотрены, например, в [6.7, 6.30].

С. Деревья решений и таблицы решений [6.7]

Деревья решений – это способ представления правил в иерархической последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение. Под правилом понимается логическая конструкция, представленная в виде «если ..., то ...». В результате применения этого метода к обучающей выборке данных создается иерархическая структура классифицирующих правил типа

«если...., то ...», имеющая вид дерева. Для того чтобы решить, к какому классу отнести некоторый объект или ситуацию, отвечают на вопросы, стоящие в узлах дерева, начиная с корня. Вопросы имеют вид «значение параметра A больше x ?», если ответ положительный, осуществляется переход к правому узлу следующего (нижнего) уровня, если отрицательный – то к левому узлу и т.д. При этом, параметр A может быть и вероятностью перехода, тогда в дереве образуются два типа вершин (узлов) – вершины обозначающие конкретные физические параметры и вершины обозначающие вероятности перехода к ним.

Целью является достижение одного из конечных узлов, где стоит указание, к какому классу надо отнести рассматриваемый объект или каков показатель, эффективность и т.п. принимаемого решения.

В итоге задача сводится к генерации возможных решений и поиску наиболее эффективного пути (правила) – принимаемого решения по построенному дереву (таблице решений). Эксперт влияет здесь на результаты анализа ситуации и/или оценку последствий тех или иных событий в тех узлах дерева, где от него требуется принять решение, формируя тем самым экспертные правила многоэтапного принятия решений.

Формирование решений с помощью таблиц решений заключается в задании матрицы, отображающей множество условий и выходных действий. Она состоит из двух частей. Верхняя часть таблицы описывает входные условия и является частью ЕСЛИ-частью операторов ЕСЛИ-ТО и требует ответа «да-нет». Нижняя часть таблицы решений используется для определения действий, то есть ТО-части операторов ЕСЛИ-ТО.

Примером использования деревьев и таблиц решений, например, в проектном анализе в нефтегазовой отрасли является применение их для преобразования финансовых цен в экономические, определения риска проведения поискового бурения, а также построения экспертных систем в энергетике [6.7] и др.

Как уже говорилось выше дерево решений - это граф, представляющий правила в иерархической последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение.

Дерево решений обычно строится следующим образом. Сначала берется весь набор данных, который представляется исходной или корневой вершиной. Затем определяются способы (правила) разбиения на ветви всего множества записей или вариантов, соответствующих корневому узлу. Ветви образуют дерево, повернутое кроной вниз. На ветвях дерева отмечают узлы, отвечающие подмножеству записей или вариантов. На каждом узле снова определяются правила разбиения на ветви и т.д. до тех пор, пока процесс не дойдет до конечных узлов, называемых листьями. В связи с этим, деревья решений часто применяются для моделирования (генерации) «многоэтапных» процессов принятия решений, в которых взаимозависимые решения принимаются последовательно. Такое представление облегчает описание процесса принятия решений.

Правило или способы разбиения множеств записей или вариантов называют решающим правилом:

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если условие выполняется;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (6.14)$$

где $a_{ik} = 1$, если условие S_i для правила r_k выполняется;

$S\{S_{ij}\} \ i = \overline{1, I}$ - множество условий, описывающих параметры выбранной предметной области,

$R = \{r_{kj}\} \ k = \overline{1, K}$ - множество решающих правил, описывающих конкретные действия, выполняемых при заданных значениях параметров из множества условий.

Правило (6.14) фактически является логической структурой "если ..., то ...", делящее анализируемое множество на две группы. По мере спуска по дереву решений от вершины к листьям, создается все больше отфильтрованных однородных множеств, удовлетворяющих определенному набору условий, сформулированных в узлах дерева.

Для генерации различных вариантов решений и их оценки наибольшее распространение получили деревья решений, содержащие два типа вершин: вершины в которых решение принимает эксперт (ЛПР) и вершины где решение принимает «случай», выходящие из вершины дуги задают определенные вероятности направлений принятия решения.

Приведенный ниже пример иллюстрирует принцип использования дерева решений [6.7].

Предположим, что на территории деятельности компании открыто и подготовлено к эксплуатации нефтяное месторождение. Проектным институтом составлена технологическая схема разработки данного месторождения, предусматривающая его эксплуатацию с помощью двух альтернативных вариантов, отличающихся фондом скважин и их размещением по площади, системами воздействия на пласт, динамикой добычи нефти и жидкости, динамикой капитальных и текущих затрат и другими технико-экономическими показателями.

Компания может принять решение о разработке месторождения первым и ли вторым способом. Например, первый способ - циклическое заводнение с паротепловой обработкой скважин; второй способ – циклическое заводнение в сочетании с возможным поэтапным уплотнением сетки скважин. Решение о выборе способа разработки, кроме технологических соображений, определяется еще и предполагаемой ценой на нефть.

Пусть, первый способ разработки месторождения для своей реализации требует затрат в 30 млн. рублей.

При выборе второго способа разработки, являющегося более дешевым и используемым при низких ценах на нефть (для своей реализации он требует затрат в 15 млн. рублей). Через 5 лет после эксплуатации месторождения начинается второй этап и требуется принятие решения о проведении уплотнения сетки скважин, затраты на которое составляют 12 млн. рублей.

Поставленная задача является многоэтапной (двухэтапной), так как если компания решит выбрать второй способ разработки, то через 5 лет она должна будет принять решение о применении уплотнения сетки скважин. То есть, этап 1-й - решение перед началом эксплуатации месторождения о выборе способа его разработки; этап 2-й - решение, принимаемое через 5 лет, относительно уплотнения сетки скважин (если на первом этапе принято решение о выборе способа разработки с уплотнением).

На рисунке 6.8, рассматриваемая задача представлена в виде *дерева решений*. Предполагается, что спрос может оказаться высоким или низким. Дерево решений имеет два типа вершин: «*решающие*» вершины () и «*случайные*» вершины (). Таким образом, начав с вершины 1 (решающей вершины), необходимо принять решение

относительно способа разработки. Вершина 2 является случайной, из нее выходят две ветви, соответствующие низкому и высокому уровням цен в зависимости от сложившейся ситуации на рынке. Каждая из этих ситуаций представлена соответствующим значением вероятности ее реализации. Вершина 3 также является случайной, из нее выходят две ветви, обозначающие разные уровни цен.

Естественно, что компания будет рассматривать возможность уплотнения сетки скважин только в том случае, если спрос по истечении 5-ти первых лет установился на высоком уровне. Следовательно, в вершине 4 принимается решение; из этой вершины выходят две ветви, соответствующие решениям: «уплотнять сетку скважин» и «не уплотнять сетку скважин». Вершины 5 и 6 опять будут случайными с двумя выходящими ветвями из каждой, соответствующими двум уровням цен.

Данные, необходимые для поиска решения, должны включать: 1) вероятности реализации каждой ветви, выходящей из случайной вершины, и 2) доходы (или расходы), связанные с каждой альтернативой решения задачи.

Ежегодные доходы для каждой из возможных альтернатив следующие:

1. Циклическое заводнение с паротепловой обработкой скважин при высоком (низком) уровне цен дает доход 5 млн. рублей (4 млн. рублей) ежегодно в течение первых 5-ти лет и 4 млн. рублей (3 млн. рублей) в течение вторых 5-ти лет.

2. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при низком уровне цен дает 3 млн. рублей ежегодно в течение первых 5-ти лет.

3. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при низком уровне цен дает 2 млн. рублей ежегодно в течение вторых 5-ти лет.

4. Циклическое заводнение без паротепловой обработки при высоком уровне цен дает 4 млн. рублей ежегодно в течение первых 5-ти лет.

5. Уплотнение сетки скважин при высоком (низком) уровне цен дает 7 млн. рублей (5 млн. рублей) ежегодно.

Все эти данные приведены на рис. 6.8.

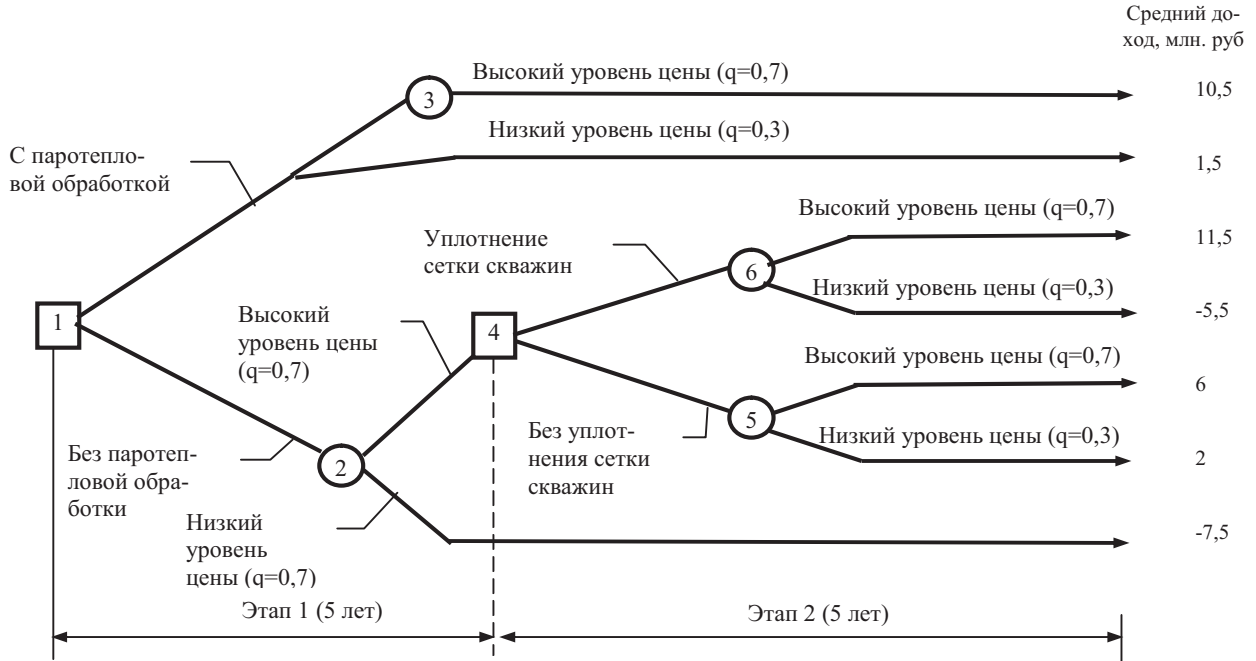


Рис. 6.8

Оценим результаты для каждой из альтернатив (ветви дерева решений), оценим по критерию среднего взвешенного дохода. Окончательный результат должен показать, какие решения необходимо выбирать в вершинах 1 и 4.

Средний доход по альтернативам составляет:

1. Циклическое заводнение с паротепловой обработкой скважин при высоком уровне цен:

$$D_1 = [(5 \times 5) + (4 \times 5) - 30] \times 0.7 = 10.5 \text{ млн. рублей.}$$

2. Циклическое заводнение с паротепловой обработкой скважин при низком уровне цен:

$$D_2 = [(4 \times 5) + (3 \times 5) - 30] \times 0.3 = 1.5 \text{ млн. рублей.}$$

3. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при высоком уровне цен в течение первых 5-ти лет и уплотнение сетки скважин при высоком уровне цен во вторые 5 лет:

$$D_3 = [(4 \times 5) \times 0.7 + (7 \times 5) \times 0.7] - 15 - 12 = 11.5 \text{ млн. рублей.}$$

4. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при высоком уровне цен в течение первых 5-ти лет и уплотнение сетки скважин при низком уровне цен во вторые 5 лет:

$$D_4 = [(4 \times 5) \times 0.7 + (5 \times 5) \times 0.3] - 15 - 12 = -5.5 \text{ млн. рублей.}$$

5. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при высоком уровне цен в течение первых 5-ти лет и без уплотнения сетки скважин при высоком уровне цен во вторые 5 лет:

$$D_5 = [(4 \times 5) \times 0.7 + (2 \times 5) \times 0.7] - 15 = 6 \text{ млн. рублей.}$$

6. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при высоком уровне цен в течение первых 5-ти лет и без уплотнения сетки скважин при низком уровне цен во вторые 5 лет:

$$D_6 = [(4 \times 5) \times 0.7 + (2 \times 5) \times 0.3] - 15 = 2 \text{ млн. рублей}$$

7. Циклическое заводнение без паротепловой обработки скважин при низком уровне на всех этапах:

$$D_7 = [(3 \times 5) + (2 \times 5)] \times 0.3 - 15 = 7.5 \text{ млн. рублей.}$$

Таким образом, оптимальным решением в вершине 1 является решение о выборе варианта разработки месторождения с циклическим заводнением без паротепловой обработки скважин при высоком уровне цен в течение первых 5-ти лет и уплотнение сетки скважин (решение в вершине 4) при высоком уровне цен во вторые 5 лет, которая дает наибольший средний суммарный доход.

Заметим, что в этом примере набор операторов "если ..., то" очевиден.

Хорошо известно, что любой граф может быть представлен матрицей. Ее называют таблицей решений. В верхней(их) строке(ах) таблицы обычно записываются условия (левая часть правила "если ..., то"). Обычно их называют входными условиями. В нижней части таблицы записывают выходные действия – результаты принимаемых решений.

Отметим также, что таблицы решений нашли применение для создания экспертных систем [6.32].

Деревья решений являются достаточно популярным методом. Популярность объясняется наглядностью и понятностью представления решений в виде графа. Но деревья решений, реализуя только последовательный перебор признаков, принципиально не могут находить "лучшие" (наиболее полные, особенно, многокритериальные оптимальные и т.п.) решения.

Все задачи, решаемые с помощью деревьев решений, могут быть сведены к следующим трем типам:

- описание данных, содержащее их характеристику;
- классификация, т.е. отнесение объекта к одному из заранее известных классов;
- регрессия, устанавливающая зависимость целевой переменной от независимых (входных) данных.

Часто алгоритмы построения деревьев решений дают сложные деревья, переполненные данными, имеют много узлов и ветвей. В них трудно разобраться. В таких случаях бывает удобнее разбить дерево на несколько деревьев решений.

Деревья решений поддерживаются программными комплексами различных фирм: так система MinSet содержит визуализатор деревьев (Tree Visualizer) и визуализатор правил (Rul Visualizer), специально для работы с деревьями решений созданы программные системы Clementine (Integral Solution, Великобритания), SIPINA (Лионский университет, Франция) и др.

Глава 7

КОМПЬЮТЕРНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

7.1. Содержание проблемы распознавания

Процесс распознавания состоит в том, что распознающая система сопоставляет поступающую на ее вход информацию об объекте или процессе с априорным описанием классов этих объектов, хранящимся в ее базе данных. В результате сопоставления каждый анализируемый объект или процесс относится к одному из классов, описанных в базе данных. Правило, осуществляющее сопоставление, называется решающим правилом. В настоящее время разработано много методов построения решающих правил.

В случае принятия управленческих решений процесс распознавания заключается в преобразовании входной информации (значения критериев распознаваемых процессов) в выходную, определяющую адекватность реализуемого процесса сложившейся обстановке и поставленной цели. При этом, часто множество классов и словарь признаков известны, хотя в общем случае это условие может не выполняться.

Метод использует данные, полученные в результате мониторинга функционирования фирмы, и позволяет СППР своевременно предупредить руководителя о необходимости модификации реализуемой стратегии.

В системах управления, в том числе и в СППР, подсистема распознавания является одним из средств получения исходной информации для принятия решения. Достоверность результатов распознавания – необходимое, но, естественно, недостаточное условие для формирования СППР оптимальных рекомендаций.

Достоверность результатов распознавания определяется не только точностью входных данных, но и обоснованностью выбора крите-

риев, шкал их значений и «весов», алгоритмов распознавания и т.п. Эта обоснованность достигается экспертами и руководителями согласованием с помощью СППР всех параметров используемых подсистемой распознавания. Одна из процедур согласования в качестве примера рассматривается в разд. 7.5. Подробно процедуры согласования обсуждены, например, в [7.1 – 7.3].

Число классов, на которые система распознавания может подразделить входящую информацию о распознаваемых объектах, целесообразно делать больше, чем число вариантов возможных управленческих решений, которые могут быть приняты по сообщениям системы распознавания. То есть между управленческим решением l_i и классом, в котором находится объект A_i , устанавливается взаимно-однозначное соответствие.

Эффективность предполагаемых СППР управленческих решений при прочих равных условиях зависит от точности определения принадлежности распознаваемого объекта или процесса к соответствующему классу. Таким образом, одна из проблем распознавания состоит в разработке такого набора классов и словаря признаков, которые в условиях имеющихся (всегда ограниченных) ресурсов обеспечивают максимальную эффективность рекомендаций системы поддержки принятия управленческих решений [7.4].

7.2. Примеры использования системой распознавания экспертных данных

В общем случае система распознавания для своей работы использует данные как объективных, так и субъективных измерений - экспертные данные (см. главу 5). Экспертные данные, используемые системой распознавания, включают в себя: перечень критериев оценки функционирования фирмы, список возможных значений оценок и «весов» каждого критерия, а также возможные классы эффективности распознаваемых процессов или сценариев (в нашем примере - стратегий и оперативных воздействий).

1. Перечень критериев, по которым руководитель или эксперт оценивает действия фирмы

Этот перечень зависит от характера оцениваемых действий. Если аналитик (руководитель) рассматриваемой гипотетической нефте-

газовой фирмы хочет сделать обзор и анализ тенденции изменений во внешней среде, то он может выбрать перечень широко известных, используемых на практике обобщенных критериев, исходя из следующего списка [7.5]:

1. тенденции мирового рынка (протекционизм и свободная торговля);
2. возрастание роли правительства в качестве заказчика;
3. развитие «Общего рынка»;
4. деловые связи с другими странами;
5. экономические и политические тенденции в развивающихся странах;
6. валютные тенденции;
7. инфляционные тенденции;
8. политика транснациональных корпораций;
9. технология как средство конкуренции;
10. размер фирмы как средство конкуренции;
11. достижение пределов роста;
12. появление новых отраслей промышленности;
13. технологические прорывы;
14. рост сектора услуг;
15. наличие богатых потребителей;
16. изменение возрастного состава потребителей;
17. сбыт продукции неподатливым потребителям;
18. социальные установки в отношении бизнеса;
19. государственный контроль;
20. давление со стороны потребителей;
21. отношения с профсоюзами;
22. влияние требований охраны окружающей среды;
23. сокращение жизненного цикла изделий;
24. столкновение интересов транснациональных корпораций с национальными интересами;
25. недоверие к бизнесу;
26. сужение горизонта прогнозирования;
27. неожиданности стратегического характера;
28. конкуренция со стороны развивающихся стран;
29. дефицит стратегических ресурсов;
30. требование поддержания уровня занятости.

Из приведенного перечня видно, что список таких критериев, приводимых в экономических работах, обычно достаточно велик, что, конечно, затрудняет оценки анализируемых процессов, но для того, чтобы продемонстрировать идею использования системы распознавания в рассматриваемом иллюстративном примере оценки стратегии, будет достаточно всего несколько критериев. Поскольку пример связан с оценкой стратегии фирмы, будем считать, что в оценке принимает участие и руководство.

СППР высвечивает на дисплеях экспертов и руководителей извлеченный из базы данных последний список критериев оценки стратегий. Каждый эксперт может его дополнить или вычеркнуть какие-то критерии. СППР обрабатывает результаты действий экспертов и представляет им результат для утверждения. Если представленный СППР список утверждается, список считается согласованным. В нашем примере будем считать согласованным следующий список:

1. изменение объемов добычи, продаж нефти и продуктов ее переработки;
2. изменение величины доходов;
3. изменение объемов нереализованной продукции;
4. изменение соотношения «доходы/суммарный капитал фирмы»;
5. изменение курса акций фирмы;
6. субъективная оценка руководителя изменения состояния фирмы.

II. Список возможных значений оценок каждого критерия

СППР просит экспертов указать желаемую балльность оценок. Каждый эксперт указывает предпочтительную для него балльность, СППР ее согласовывает и предлагает для утверждения. Будем считать, что утверждена пятибалльная оценка. Пусть СППР из базы данных предлагает следующие лингвистические и соответствующие им балльные оценки состояния фирмы: большой рост (5), рост (4), без изменений (3), сокращение (2), большое сокращение (1). В скобках указаны балльные оценки. Для критерия «изменение объемов нереализованной продукции» – балльные оценки инверсные: большой рост (1), рост (2) и т.д.

III. «Вес» (значимость) каждого критерия

Для оценки «весов» критериев каждым экспертом используем метод парных сравнений. Для этого СППР показывает на дисплеях экспертов и руководителей таблицу типа табл. 7.1 и просит проставить в каждой клетке столбцов 2-6 один из знаков «важнее», «менее важен», «эквивалентен» ($>$, $<$, $=$). Если эксперт нарушил транзитивность предпочтений, СППР указывает эксперту на его ошибку и просит ее исправить. Оценку каждого k -го эксперта в табл. 7.1 можно записать в виде матрицы $R^k = (r_{ij}^k)$, где:

$$r_{ij}^k = \begin{cases} 3, & \text{если в столбцах 2 - 6 стоит знак } >; \\ 2, & \text{если в столбцах 2 - 6 стоит знак } =; \\ 1, & \text{если в столбцах 2 - 6 стоит знак } <. \end{cases}$$

Таблица 7.1

Наименование и №№ Критериев	1	2	3	4	5	6	Балл	k_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Изменение объемов добычи и продаж	-	=	>	>	>	>	14	5
2. Изменение величины доходов	=	-	>	>	>	>	14	5
3. Изменение объемов нереализованной продукции	<	<	-	>	>	<	9	3
4. Изменение соотношения «доходы/суммарный капитал фирмы»	<	<	<	-	=	<	6	1
5. Изменение курса акций фирмы	<	<	<	=	-	<	6	1
6. Субъективная оценка изменения состояния фирмы	<	<	>	>	>	-	11	4

Теперь легко подсчитать балл каждого критерия. Можно просуммировать значения r_{ij}^k по каждой строке или использовать какие-нибудь другие операции. Важно, чтобы они отражали «веса» критериев, указанные руководителем или экспертом при парных сравнениях. Баллы критериев в табл. 7.1 указаны в столбце 8, а «вес» k_i – в столбце 9. На основании матриц каждого эксперта R^k СППР формирует матрицу коллективного предпочтения R^* , учитывая возможное

нарушение транзитивности и, если оно возникло, исправляет его. Возможные алгоритмы приведены, например, в [7.1].

Будем считать такой согласованной матрицей табл. 7.1.

IV. Возможные классы эффективности распознаваемых процессов

Чем раньше руководитель сможет дать оценку качества руководимого им процесса (в нашем примере – реализации стратегии), тем раньше он сможет принять решение об его коррекции и сумеет лучше подготовиться, спланировав и осуществив практические шаги для смены реализуемой стратегии. Для этого система распознавания должна определить, в каком состоянии находится распознаваемая стратегия (в общем случае – процесс).

СППР из базы данных выбирает вариант классификации состояния процессов и высвечивает его на дисплеях экспертов. Пусть таких классов будет три (определим их в терминах стратегий):

- стратегия обеспечивает высокую конкурентоспособность фирмы, такую стратегию будем называть зеленой;
- стратегия вызывает сомнение в обеспечении конкурентоспособности, назовем такую стратегию серой;
- стратегия не обеспечивает конкурентоспособность фирмы, ее надо менять, такую стратегию назовем красной, опасной стратегией.

Эксперты могут вносить изменения в классификацию стратегий, а СППР после их согласования выносит согласованный вариант на утверждение руководителей. Будем считать разбиение состояний стратегий на три класса согласованным.

Поскольку оперативное управление связано главным образом с типичными явлениями, будем считать, что на фирме утверждены списки критериев, шкалы их оценок, «веса» и возможные классы эффективности оперативного управления.

Пусть утвержден следующий список критериев:

1. изменение объемов продаж;
2. изменение величины доходов;
3. изменение объемов нереализованной продукции;
4. изменение соотношения доходы/суммарной капитал фирмы;
5. изменение курса акций фирмы;
6. субъективная оценка изменения состояния фирмы.

Заметим, что при заданном критериальном пространстве и прочих равных условиях, уменьшение числа классов, к которым могут быть отнесены процессы или объекты, приводит к уменьшению ошибок распознавания. Это интуитивно ясное утверждение доказано в [7.4].

7.3. Схема функционирования системы распознавания

В этом разделе рассматриваются следующие задачи: 1) разбиение пространства значения критериев на области, соответствующие состояниям процессов, 2) определение принадлежности процесса тому или другому классу, 3) разбиение критериального пространства на возможные классы процессов. Решение всех трех задач демонстрируется на стратегиях, поскольку в нашем примере они являются процессами, эффективность которых распознается.

1. Разбиение пространства значения критериев на области, соответствующие состояниям процессов

Пусть в априорном словаре признаков содержится упорядоченный набор параметров, характеризующий стратегию или оперативное воздействие (в общем виде – объект или процесс). Признаки x_1, \dots, x_n можно рассматривать как составляющие вектора $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$, описывающего априорное пространство признаков системы распознавания размерности n . Каждая точка этого пространства представляет собой возможные значения характеристик распознаваемого процесса (стратегии).

Произведем разбиение процессов на классы W_1, \dots, W_m . Требуется выделить в пространстве критериев области $D_i, i = \overline{1, m}$, эквивалентные классам, т.е. характеризующиеся следующей зависимостью: если процесс (стратегия), имеющий значения критериев x_1^0, \dots, x_n^0 относится к классу W_i , то представляющая его в признаковом пространстве точка принадлежит области D_i .

Помимо геометрической может быть дана алгебраическая формулировка задачи: требуется построить разделяющие функции $F_i(x_1, \dots, x_n), i = \overline{1, m}$, обладающие следующим свойством: если стратегия (или оперативное управление), характеризуемая значениями

критериев x_1^0, \dots, x_n^0 , относится к классу W_i , то величина $F_i(x_1^0, \dots, x_n^0)$ должна быть максимальной. Такой же она должна быть и для всех других значений критериев сообщений, относящихся к классу (рангу) W_i .

Если через \bar{x}_q обозначить вектор значений критериев процессов или объектов, относящихся к рангу W_q , то

$$F_q(\bar{x}_q) > F_s(\bar{x}_q), \quad q, s = \overline{1, m}, \quad s \neq q. \quad (7.1)$$

Таким образом, в пространстве значений критериев граница разбиений, соответствующих рангам сообщений G_i , выражается уравнением [7.4]:

$$F_q(x) - F_s(x) = 0.$$

Она называется решающей границей между областями значений критериев D_i .

Для краткости изложения иллюстративного примера, излагаемого в дальнейшем, будем считать, что таких рангов три.

II. Определение процесса данному классу

Если выбранная мера близости L данного процесса w с каким-либо классом процессов W_q , $q = \overline{1, m}$ превышает меру его близости с другими классами, то принимается решение о принадлежности этого процесса классу W_q , т.е. $w \in W_q$, если $L(w, W_q) = \text{extr}L(w, W_i)$, $i = \overline{1, m}$, $i \neq q$.

Для определения меры близости между процессами в N -мерном векторном пространстве значений критериев необходимо ввести метрику. Она должна удовлетворять обычным аксиомам расстояний $d(\bar{a}, \bar{b}) = d(\bar{b}, \bar{a})$, $d(\bar{a}, \bar{c}) \leq d(\bar{a}, \bar{b}) + d(\bar{b}, \bar{c})$, $d(\bar{a}, \bar{b}) \geq 0$, $d(\bar{a}, \bar{b}) = 0$, если $\bar{a} = \bar{b}$. Часто используется евклидова метрика:

$$d(w_p, w_q) = \sum_{j=1}^J (x_p^j - x_q^j)^2.$$

В качестве меры близости используем среднеквадратичное расстояние между распознаваемым процессом w и совокупностью процессов (W_{q1}, \dots, W_{qm}) , представляющих класс W_q :

$$L(w, W_q) = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{s=1}^S d^2(w, w_{qs})}.$$

При учете «весов» значений критериев процессов применим метрику вида:

$$L(w, W_q) = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{j=1}^n k_j (x_j - x_{qsj})^2},$$

где k_j – «вес» j -го критерия, x_{qsj} – значение j -го критерия s -ого процесса, принадлежащего классу q .

Если в качестве принципа классификации систем распознавания использовать типы значений параметров, на которых производится описание воздействий этих стратегий, то системы распознавания могут подразделяться на детерминированные, вероятностные, логические, структурные и комбинированные. Первые три типа комментариев не требуют. В структурных системах распознавания используются порождающие грамматики. Они генерируют языки, описывающие распознаваемые процессы, относя их к соответствующим классам. В комбинированных системах распознавания применяют специально разработанные алгоритмы вычисления оценок (АВО). АВО опираются на таблицы, описывающие классы процессов и их характеристики. Значения характеристик может быть выражено любым из перечисленных выше типов.

III. Разбиение критериального пространства на возможные классы процессов

Опыт решения задач распознавания показывает, что основная информация заключена не в отдельных признаках (значениях критериев), а в их различных сочетаниях. Так как не всегда известно, какие именно сочетания информативны, то в АВО степень схожести процессов будем вычислять не последовательным сопоставлением отдельных значений критериев, а сопоставлением их сочетаний, входящих в описание процесса, в нашем случае, стратегии или оперативного воздействия.

Содержательно это значит, что множество процессов или объектов $W = w_1, \dots, w_l$ требуется разбить на такие подмножества (классы) w_1, \dots, w_l , чтобы:

- они не пересекались, т.е. $w_i \cap w_j = 0, (i \neq j)$;
- были по возможности максимально удалены друг от друга, т.е. чтобы среднеквадратичный разброс (если выбрана эта мера) в подмножествах процессов определялся выражением:

$$R(W_i, W_j) = \max_{\substack{i \neq j \\ i=1, \dots, I \\ j=1, \dots, J}} \sqrt{\frac{1}{s_i s_j} \sum_{k=1}^{s_i} \sum_{l=1}^{s_j} d^2(w_{ik}, w_{jl})};$$

- любой процесс W_k попадал в одно и только одно из подмножеств W_l , т.е. $\bigcup_{i=1}^l W_i = W$;

- каждое подмножество состояло из «наиболее похожих» элементов, т.е. элементы внутри подмножества должны характеризоваться выражением:

$$E(W_p) = \min_{\substack{k \neq l \\ k_p=1, \dots, K_p}} \sqrt{\frac{2}{k_p} \cdot \frac{1}{k_{p-1}} \sum_{k=1}^{K_p} \sum_{l=1}^{K_p} d^2(w_{pk}, w_{pl})}.$$

Это значит, что требуется минимизировать некоторый функционал (он еще не определен), заданный на множестве всех разбиений W и отражающий понятие качества разбиения (это семантическое понятие тоже не определено).

Если число подмножеств определено (напомним, что это уже было сделано разбиением всех реализуемых стратегий на три класса), то задачу качества решения можно формализовать следующим образом [7.6].

Каждому классу процессов или объектов W_q поставим в соответствие величину $E(W_q)$ степени близости его элементов, а оптимальное разбиение опишем парой функционалов:

$$\begin{aligned} E &= \min_q \sum_{q=1}^Q E(W_q) \\ R &= \max_{\substack{k \neq q \\ W_k, W_q \in W}} R(W_{k,q}) \end{aligned} \quad (7.2)$$

Точное решение задачи (7.2) требует очень больших вычислений, так только в соответствии с первым уравнением необходимо

проанализировать $H(n, m) = \sum_{i=0}^m (-1)^N C_m^N (m-i)^N$ различных раз-

биений N процессов на m групп, поэтому в таксономии широко используются эвристические приемы. Рассмотрим идеологию следующей эвристики, использующую специфику оценки эффективности стратегий и оперативных воздействий.

Каждой стратегии или управляющему воздействию w_i припишем вектор оценок критериев $w_i(\bar{x})$. При построении системы распознавания правильности реализуемой стратегии или управляющего воздействия приходится иметь дело с множеством гипотетических реализаций, имеющих всевозможный набор критериальных оценок от «отлично» по всем критериям до «очень плохо». Поскольку проведение практических экспериментов, также как и получение статистических данных, невозможно, задача СППР заключается в том, чтобы получить с помощью руководителей и экспертов субъективные критериальные оценки реализуемой стратегии или управляющего воздействия, и на основе этих оценок определить к какому классу зеленому, серому или красному относится анализируемый процесс.

Представим себе, что СППР генерирует упорядоченную таблицу W_T , содержащую вектора $w_i(\bar{x}), i = 1, N$, которые характеризуют все возможные стратегии. Первым в этой таблице стоит вектор «идеальной» стратегии или оперативного воздействия, вектор значений критериев которой содержит одни пятерки, а последний вектор значений состоит только из единиц – «самая плохая» стратегия.

При генерации этой таблицы очередной записываемый в таблицу вектор $w_k(\bar{x})$, характеризующий стратегию w_k сравнивается поочередно со всеми уже записанными в таблицу векторами $w_i(\bar{x})$ и находится такой, для которого:

$$\rho(w_k(\bar{x})w_i(\bar{x})) = \min_{\substack{w_i(\bar{x}) \in W_T \\ w_k(\bar{x}) \notin W_T}} \rho(w_k(\bar{x}), w_i(\bar{x})), \quad (7.3)$$

где $\rho(w_k(\bar{x})w_i(\bar{x})) = \sqrt{\sum_{j=1}^J k_j (x_i^j - x_k^j)^2}$, K_j – «вес» j -го критерия.

Вектор $w_k(\bar{x})$ заносится в упорядоченное множество W_T векторов таблицы на место, следующее за вектором $w_i(\bar{x})$, отвечающим условию (7.3).

Поясним примером определение расстояний $\rho(w_k(\bar{x}), w_i(\bar{x}))$ между стратегиями $w_1, w_2; w_1, w_l$ и w_l, w_N , «веса» критериев взяты из табл. 7.1, а их значения – из табл. 7.2. Номера критериев в табл. 7.2 соответствуют номерам табл. 7.1.

Таблица 7.2

№№ векторов	Значения критериев					
	1	2	3	4	5	6
1	5	5	5	5	5	5
2	5	5	5	5	4	5
...
l	3	4	5	3	2	3
...
N	1	1	1	1	1	1

Заметим, что если фактически создавать такую таблицу, то число строк в ней $N=S^M$, где S – балльность оценок критерия, а M – число критериев. Для нашего случая $S=5$, $M=6$, $N=S^M=15\ 625$. При увеличении числа критериев N будет резко возрастать. Поэтому придется прибегать к искусственным приемам для сокращения размеров таблицы. Здесь табл. 7.2 дана только для иллюстрации.

$$\begin{aligned} \rho(w_1(\bar{x})w_2(\bar{x})) &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 k_j (x_1^j - x_2^j)^2} = \\ &= \sqrt{5(0) + 5(0) + 3(0) + 1(0) + 1(1) + 4(0)} = 1.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho(w_1(\bar{x}), w_l(\bar{x})) &= \sqrt{\sum_{l=1}^6 (x_1^l - x_2^l)^2} = \\ &= \sqrt{5(5-3)^2 + 5(5-4)^2 + 3(5-5)^2 + 1(5-3)^2 + 1(5-2)^2 + 4(5-2)^2} = \\ &= \sqrt{74} = 8.6 \end{aligned}$$

$$\rho(w_1(\bar{x}), w_N(\bar{x})) = \sqrt{304} = 17.4.$$

Из приведенных рассуждений и примеров следует:

- чем «ближе» значение критериев стратегии w_i и w_k друг к другу, тем меньше величина $\rho(w_i(\bar{x}), w_k(\bar{x}))$. Это свойство и определяет алгоритм упорядочивания векторов таблицы W_T ;
- множество векторов W_T упорядочено по их «удаленности» от наилучшего вектора $w_1(\bar{x})$ и наихудшего $w_N(\bar{x})$, при этом равномерно распределено между ними;
- как бы ни были проведены гиперплоскости, разделяющие классы стратегий, величина $\rho(w_i(\bar{x}), w_k(\bar{x}))$ между граничными векторами $w_i(\bar{x})$ и $w_k(\bar{x})$ соседних классов в нашем случае (возможно, это нетипично для распознавания других объектов) не будет значительно отличаться от значений $\rho(w_j(\bar{x}), w_{j+1}(\bar{x}))$ соседних векторов внутри классов. Поэтому скачок значений $\rho(w_i(\bar{x}), w_k(\bar{x}))$ не может быть использован как признак прохождения гиперплоскости между классами стратегий.

Теперь на множестве упорядоченных векторов таблицы W_T определим границы зеленого, серого и красного подмножеств состояния стратегий, то есть построим разделяющие гиперплоскости, удовлетворяющие уравнению (7.1). В литературе описано большое число эффективных методов построения гиперплоскостей, использующих сложный математический аппарат [7.4, 7.6, 7.7]. Они требуют информации, в нашем случае, как правило, неизвестной, поэтому рассмотрим два подхода, основанные на сравнительно простых способах измерения меры сходства, заданной расстоянием между парами векторов $w_1(\bar{x})$ и $w_q(\bar{x})$ [7.4].

1. СППР проводит гиперплоскости в пространстве с метрикой $\rho(w_1(\bar{x}), w_N(\bar{x}))$ (от первого до последнего векторов упорядоченно-

го множества векторов таблицы $W_T(\bar{x})$), разбивая его на заданное число L классов стратегий (в нашем случае $L=3$) и находит вектор $w^*(\bar{x})$ такой, что

$$\rho(w_1(\bar{x}), w^*(\bar{x})) = \frac{\rho(w_1(\bar{x}), w_N(\bar{x}))}{L}.$$

Вектор $w^*(\bar{x})$ объявляется СППР нижней границей первого класса стратегий, в нашем случае – границей зеленого класса. Аналогично находятся границы остальных классов. Этот подход базируется на гипотезе о равномерном распределении множества векторов таблицы $W_T(\bar{x})$ и равномерном числе векторов в каждом классе стратегий. Последнее предположение можно скорректировать, сдвигая граничный вектор в ту или другую сторону. Недостаток этого подхода – оторванность от оценки руководителем полученного разбиения множества векторов таблицы $W_T(\bar{x})$ на классы, основанные на его семантических оценках их границ.

2. СППР проводит гиперплоскость, основанную на семантических, содержательных оценках руководителей и экспертов граничных векторов классов. Эти оценки должны определять диапазоны вариации критериальных оценок каждого класса. Для этого СППР просит экспертов и руководителей выбрать в каждом классе граничные опорные вектора $\tilde{w}_{q_l}^l(\bar{x}), l = \overline{1, L}$.

Для нашего случая опорным в зеленом классе естественно выбрать вектор $w_1^1(\bar{x}) = (5,5,5,5,5)$, а в красном – вектор $w_N^3(\bar{x}) = (1,1,1,1,1)$, в сером классе выбирать опорный вектор нецелесообразно, т.к. в него попадут вектора, не попавшие в зеленый и красный классы. Для критериального значения этих векторов эксперты должны указать СППР пороги $h_j^l, j = \overline{1, J}, l = \overline{1, L}$, в пределах которых сохраняется принадлежность анализируемого вектора к классу, для которого $w_q^l(\bar{x})$ является опорным. Полученные данные согласовываются СППР и представляются руководителям на утверждение. Для оценки стратегий они показаны в табл. 7.3, а для оценки оперативных воздействий в табл. 7.4. Наименование критериев взято

из разд. 7.2.I, а оценки из разд. 7.2.II, в скобках указаны допустимые отклонения от значения критериев опорного вектора.

В соответствии с табл. 7.3 зеленый класс ограничен отклонениями значений критериев от опорного – 1 для всех критериев кроме критерия «изменение величины доходов». Для этого критерия отклонение от значения опорного вектора не допускается. Красный класс ограничен отклонениями значений критерия от опорных +1 для четырех критериев и для двух критериев отклонение не допускается. Если бы число классов было больше трех – значения граничных опорных векторов и диапазоны отклонений от них определялись бы для каждого класса.

Таблица 7.3

Наименование критериев	Допустимое значение критерия опорного вектора в классах и возможное отклонение от него	
	зеленый	красный
1. Изменение объема добычи и продаж продукции	Рост (-1)	Сокращение (-1)
2. Изменение величины доходов	Большой рост (0)	Сокращение (-1)
3. Изменение объемов нерезализованной продукции	Рост (-1)	Сокращение (-1)
4. Изменение соотношений дохода/суммарный капитал фирмы	Рост (-1)	
5. Изменение курса акций фирмы	Рост (-1)	Сокращение (-1)
6. Субъективная оценка изменения состояния фирмы	Рост (-1)	Сокращение (-1)

Таким образом, в зеленый класс попадают стратегии, у которых описывающие их векторы $w_i(\bar{x})$ удовлетворяют условию отклонения от опорного вектора:

$$\rho(w_i(\bar{x}), w_{\Gamma}^1(\bar{x})) < \rho(w_1^1(\bar{x}), w_{\Gamma}^1(\bar{x})) = \sqrt{\sum_{j=1}^6 k_j (x_i^j - x_{\Gamma}^j)^2} = \quad (7.4)$$

$$= \sqrt{5(2)^2 + 5(0)^2 + 3(2)^2 + 1(2)^2 + 1(2)^2 + 4(2)^2} = \sqrt{56} = 7.48.$$

В красный класс попадают стратегии, у которых описывающие их вектора $w_i(\bar{x})$ удовлетворяют условию отклонения от опорного вектора:

$$\rho(w_i(\bar{x}), w_G^3(\bar{x})) < \rho(w_i^3(\bar{x}), w_G^3(\bar{x})) = \sqrt{\sum_{j=1}^6 k_j (x_i^j - x_G^j)^2} = \quad (7.5)$$

$$= \sqrt{5(2)^2 + 5(2)^2 + 3(2)^2 + 1(2)^2 + 1(2)^2 + 4(2)^2} = \sqrt{76} = 8.72,$$

где $w_G^1(\bar{x}), w_G^3(\bar{x})$ граничные опорные вектора соответственно зеленого и красного классов. «Весы» критериев взяты из табл. 7.1.

7.4. Распознавание системой класса реализуемого процесса (стратегии)

После того, как характеристики классов сформулированы и записаны в базу данных СППР, система может сопоставить оценки реализуемых стратегий с границами классов и определить принадлежность стратегии или управляющего воздействия к одному из них.

1. Формирование таблиц критериальных оценок в системе мониторинга

Для того, чтобы распознающая система могла оценить реализуемую стратегию, она должна узнать от эксперта что такое «хорошо» и что такое «плохо». В разделе 7.3 уже отмечалось, что специально разработанные алгоритмы вычислительных оценок (АВО) опираются на таблицы, содержащие необходимые для функционирования алгоритма данные. В нашем случае это таблицы критериальных оценок. Для каждого критерия определяются значения, соответствующие лингвистическим или балльным оценкам критерия. Например, для критерия «Изменение объема продаж продукции» СППР просит экспертов проставить значения критериев в таблицу типа табл. 7.4.

Таблица 7.4

% изменения значений параметров				
Большой рост	Рост	Без изменений	Сокращение	Большое сокращение
Больше 10	+10, +4.9	+5, 0	-0.1, - 5	Больше 5

Аналогичные таблицы составляются и для других критериев (они могут быть сведены в одну). После того как каждый эксперт проставил свои значения, СППР согласовывает и представляет их

руководителю для утверждения. Поскольку в систему мониторинга с заданной частотой поступает вся информация о количестве продаж, стоимости акций и т.п., она с заданной частотой обновляет свои базы данных, если необходимо, запрашивая те данные, которые не поступают автоматически, например субъективные оценки руководителей изменения состояния фирмы.

II. Критериальная оценка системой мониторинга реализуемого процесса (стратегии)

Используя текущие значения параметров состояния фирмы, полученные в процессе мониторинга, и таблицы типа табл. 7.4, СППР формирует вектор текущих критериальных оценок стратегии фирмы $w_t(\bar{x}) = (x_1^t, x_2^t, \dots, x_6^t)$. Для этого значение параметра, например «Изменение объема продаж продукции», СППР сравнивает с интервалами значений в табл. 7.4 и определяет критериальную оценку. Допустим, рост продаж составил +1%, в табл. 7.4 это соответствует критериальной оценке «Без изменений».

Аналогично определяются СППР и оценки других параметров.

III. Распознавание класса реализуемых процессов (стратегий)

Метод разбиения множества стратегий на классы определяет и правило распознавания. Пусть вектор $w_t(\bar{x})$ критериальных оценок реализуемой стратегии определен СППР в виде:

$$w_t(\bar{x}) = (3, 4, 2, 1, 1, 1).$$

В нашем случае СППР определяет расстояние от текущего вектора до опорного в зеленом классе и проверяет выполнение условия (7.4):

$$\begin{aligned} \rho(\tilde{w}_1^1(\bar{x}), w_t(\bar{x})) &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 k_j (x_1^j - x_T^j)^2} = \\ &= \sqrt{5(5-3)^2 + 5(5-4)^2 + 3(5-2)^2 + 1(5-1)^2 + 1(5-1)^2 + 4(5-1)^2} \\ &= \sqrt{118} = 10.8 \end{aligned}$$

Условие (7.4) не удовлетворено. Стратегия не принадлежит зеленому классу.

СППР определяет расстояние от текущего вектора до опорного в красном классе и проверяет выполнение условие (7.5):

$$\begin{aligned} \rho(\tilde{w}_N^3(\bar{x}), w_t(\bar{x})) &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 k_j (x_N^j - x_T^j)^2} = \\ &= \sqrt{5(1-3)^2 + 5(1-4)^2 + 3(1-2)^2 + 1(1-1)^2 + 1(1-1)^2 + 4(1-1)^2} = \\ &= \sqrt{68} = 8.2. \end{aligned}$$

Условие (7.5) удовлетворено. СППР считает, что стратегия принадлежит красному классу. Изложенный метод не требует значительных вычислений даже при большом числе критериев и балльности оценок – это его достоинство.

Существенным недостатком метода является сложность определения ошибочных распознаваний (отнесение стратегии к классу, которому она не принадлежит), так как все критериальные оценки основаны на субъективной классификации экспертов и руководителей. В нашем случае этот недостаток определяется характером данной решаемой задачи и предметной областью. Но использование субъективных оценок, классификаций, предпочтений и т.п. характерно не только для этой задачи и рассматриваемой предметной области, они применяются очень широко практически во всех предметных областях.

Поэтому методики формирования субъективных оценок имеют очень большое значение. В них можно выделить три составляющих: модели и программные методы их реализации, экспертные оценки и их согласование. Краткому освещению двух последних вопросов посвящен следующий раздел. Проблемы моделирования рассмотрены в гл. 6.

7.5. Принципы компьютерной поддержки согласования субъективных экспертных оценок стратегий

Выше многократно упоминалось о необходимости согласования управленческих решений. Рассмотрим некоторые процедуры согласования на примере оценок стратегий.

Идеология согласования групповых решений. Согласование любых управленческих решений, в том числе по формированию

стратегий и управляющих воздействий, – это потенциально противоречивый переговорный процесс, в ходе которого договаривающиеся стороны, возможно конфликтующие, стараются в процессе переговоров выработать совместное решение для получения результата, которого они не могут достичь другим путем. Какими бы методами не согласовывались групповые решения, их принятие – процедура несравненно более сложная, чем процедура принятия индивидуальных решений.

Переговоры – тяжелая работа. Множество возникающих в ходе переговоров вариантов может подавить участников и заставить их исходить из чисто эвристических или эмоциональных предпосылок, а не из вариантов решений, обоснованных расчетами. Часто участники переговоров не могут достичь соглашения, хотя хорошее решение существует. Помощь СППР может оказаться особенно полезной в тех случаях, когда в ходе переговоров возникает новая, тем более не стандартная, ситуация или участники не имеют достаточно времени для основательной подготовки к переговорам.

Согласованное групповое решение вырабатывается на основе, как имеющейся объективной информации, так и субъективных интересов, предпочтений и целей, высказанных участниками переговоров. То есть осуществляется переход от заданных индивидуальных точек зрения к единому коллективному мнению, с которым согласны участники переговоров и на основе которого вырабатывается совместное решение.

Основное условие успешности согласования групповых решений, не проводимых с позиции силы, – удовлетворение рациональных интересов договаривающихся сторон на основе компромисса, то есть достижение условий, при которых в определенном выигрыше оказывается каждая договаривающаяся сторона.

Необходимо подчеркнуть, что это предположение о рациональности поведения выполняется далеко не всегда. Видимо, не случайно Нобелевская премия по экономике в 2002 г. была присуждена за исследования по нерациональности поведения инвесторов и других участников рынка при принятии экономических решений.

Хорошо известно, что при решении проблем, связанных с количественными расчетами и длинными последовательностями строгих логических выводов, человек сильно уступает компьютеру. Однако в

тех областях, где вместо четкости присутствует размытость и субъективность, вместо истинности – правдоподобность, применение средств вычислительной техники пока еще встречает определенные трудности. Согласование управленческих решений, как правило, относится именно к таким проблемам.

Осложняющим фактором при согласовании решений является неопределенность, связанная с тем, что руководители или эксперты не могут точно предвидеть и оценить результаты реализации выбираемой цели и стратегии. Естественно, при согласовании стратегий неопределенности оценок каждого эксперта или руководителя, участвующего в переговорах, накладываются друг на друга, создавая дополнительные трудности.

Примером такой субъективности и связанной с ней неопределенности может служить реально существующий разрыв в принципах моделирования процессов экономистами и математиками (не говоря уже о других категориях заинтересованных участников дискуссий). Экономисты часто проводят эконометрическое моделирование, подтверждая свои выводы с помощью статистических данных, либо примеров из аналогичных, как им кажется, процессов, т.е. с точки зрения математиков, пользуются «методом неполной индукции». Чисто математические конструкции в большинстве случаев не полностью отражают реальную ситуацию. Одним из выходов из создавшегося противоречия является, наряду с анализом, генерация вариантов сценариев (поведения) системы и их оценка [7.8].

Компьютерная поддержка экспертизы оценки результатов мониторинга. Для анализа оценки результатов мониторинга и сложившейся ситуации часто прибегают к помощи экспертов, в том числе и посторонних для фирмы. Экспертиза может быть индивидуальной, когда в ней участвует один эксперт, или коллективной, когда в ней участвует группа экспертов. Концепцию коллективной многовариантной экспертизы целесообразно основывать на следующих основных принципах [7.9]:

- экспертиза проводится в экспертных комиссиях, число которых не меньше числа различных точек зрения на исследуемую проблему;
- в одну и ту же комиссию включаются эксперты, имеющие близкие точки зрения по рассматриваемым вопросам;

- в каждой комиссии работают эксперты, не имеющие конфликтных взаимоотношений;
- организация и проведение экспертизы, обработка ее результатов проводится специальной группой, не заинтересованной в результатах экспертизы.

Поскольку оценка эффективности реализуемых стратегий и, тем более модификация стратегий, задача для фирмы чрезвычайно важная и сложная, крупные фирмы не жалеют усилий и расходов на их выполнение.

Для разбиения экспертов на группы им раздают анкеты, в которых они должны указать наиболее целесообразные с их точки зрения варианты. Таким образом, "точка зрения" эксперта в первом грубом приближении описывается набором его ответов. В памяти вычислительной машины результаты могут быть представлены в виде матрицы $n \times k$, где n - число экспертов, а k - число вопросов. Задача структуризации мнений с помощью СППР сводится к разбиению множества точек x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$ на такие группы G_1, G_2, \dots, G_r , чтобы расстояния между точками в пределах каждой группы были как можно меньше расстояния между группами – как можно больше. СППР может это сделать различными методами, которые здесь не рассматриваются.

Для выявления конфликтных взаимоотношений эксперты также должны ответить на вопросы анкеты, но задавать вопрос типа "Оцените уровень конфликтности с Вами каждого эксперта из представленного ниже списка" – опасно, т.к. велика опасность получить дезинформирующие ответы. Это связано с тем, что на отношения экспертов накладываются условия подчиненности, влияния, дружбы, совместной работы и т.д. Поэтому лучшие результаты дают так называемые косвенные вопросы [7.9]. Результаты анкетирования вводятся в СППР, которая и производит автоматическую классификацию конфликтности экспертов и формирует группы по принципу бесконфликтности.

Одним из вопросов, который может интересовать руководителя, а возможно и всех участников, – это оценка влияния, компетентности, добросовестности или других качеств своих коллег. В различных фирмах, в том числе и нефтегазовых такая оценка является достаточно актуальной, так как, во-первых, часто меняется цена на

нефть и газ и, во-вторых, аналитики и другие сотрудники фирмы могут подвергаться лоббистскому давлению со стороны организаций, заинтересованных в выгодном для них освещении событий, связанных с реализацией процессов нефтегазодобычи, транспорта, переработки и продажи нефти(газа) и продуктов их переработки.

Одним из самых простых способов определения влияния, компетентности, добросовестности и т.д. экспертов – попросить представить оценки каждого члена группы своим коллегам и по этим оценкам получить оценку для каждого. Можно предложить произвести парные сравнения и произвести оценки в виде индексов δ_{jkd} , характеризующие степень превосходства j -го члена группы относительно k -го с субъективной точки зрения d -го члена группы, $j, k=1, N$. При этом предполагается, что член группы d не сравнивает себя с другими членами группы, т.е. $j \neq d, k \neq d$. Индекс δ_{jkd} будем определять в соответствии с табл. 7.5.

Таблица 7.5

Относительные лексические оценки	Значение индекса δ_{jkd}
D_j значительно превосходит D_k	+8
D_j существенно превосходит D_k	+6
D_j превосходит D_k	+4
D_j слегка превосходит D_k	+2
D_j эквивалентен D_k	0

Если сравнивать по табл. 7.5 степень D_k и D_j , то абсолютное значение индекса δ_{jkd} будет то же, но знак «+» поменяется на «-». Сравнительные оценки $\delta_{kj d}$ отобразим в отношении $r_{ikd} = \exp(\gamma \delta_{ikd})$, которое будем считать численной оценкой отношения P_j / P_k , j -го участника переговоров к k -му участнику переговоров. Эту оценку дает каждый d -ый член группы. В дальнейшем положим $\gamma = \ln 2$, хотя это значение может меняться в зависимости от обстоятельств. Значения γ порождает логарифмическую шкалу.

Будем оценивать вектор $P(P_1, P_2, \dots, P_G)$ качества каждого члена группы с помощью логарифмической регрессии [7.10] (хотя, конечно, можно и другим методом):

$$\sum_{j < k} \sum_{d \in D_{jk}} (\ln r_{jkd} - \ln P_j + \ln P_k)^2, \quad (7.6)$$

минимизирующей разницу между отношениями P_j / P_k и δ_{jkd} , где D_{jk} – множество участников переговоров, высказавших свою оценку остальным участникам.

Уравнение (7.6) может быть преобразовано к виду:

$$\ln P_j \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^G N_{jk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^G N_{jk} \ln P_k = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^G \sum_{d \in D_{jk}} r_{jkd}, \quad j = 1, G, \quad (7.7)$$

где N_{jk} – число членов группы, оцениваемых членом группы d .

Поскольку $N_{jk} = (G-2)$, т.к. каждый участник не сравнивает себя с остальными, то уравнение (7.7) преобразуется в

$$G(G-2) \ln P_j - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^G (G-2) \ln P_k = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^G \sum_{\substack{d=1 \\ d \neq j}}^G \ln r_{jkd}. \quad (7.8)$$

и

$$\ln P_i = \frac{1}{G(G-2)} \sum_{k=1}^G \sum_{\substack{d=1 \\ k \neq d \neq j}}^G \ln r_{ikd}. \quad (7.9)$$

Проиллюстрируем сказанное примером. Пусть имеется группа из $G=4$ человек. Оценки членами группы (DM_i) друг другом даны в табл. 7.6.

Таблица 7.6

DM_1	DM_2	DM_3	DM_4
$\delta_{2,3,1} = -4$	$\delta_{1,3,2} = +4$	$\delta_{1,2,3} = -2$	$\delta_{1,2,4} = +6$
$\delta_{2,4,1} = -3$	$\delta_{1,4,2} = +3$	$\delta_{1,4,3} = 0$	$\delta_{1,3,4} = +2$
$\delta_{3,2,1} = +2$	$\delta_{3,1,2} = +5$	$\delta_{2,1,3} = -5$	$\delta_{2,1,4} = 0$
$\delta_{3,4,1} = 0$	$\delta_{3,4,2} = +1$	$\delta_{2,4,3} = -1$	$\delta_{2,3,4} = +2$
$\delta_{4,2,1} = -6$	$\delta_{4,1,2} = 0$	$\delta_{4,1,3} = -6$	$\delta_{3,1,4} = +6$
$\delta_{4,3,1} = -2$	$\delta_{4,2,2} = -2$	$\delta_{4,2,3} = -5$	$\delta_{3,2,4} = +5$

В нашем примере из уравнения (7.8) имеем:

$$8 \ln P_j - 2 \sum_{k=1}^4 \ln P_k = \gamma \sum_{k=1}^4 \sum_{\substack{d=1 \\ k \neq d \neq j}}^4 \delta_{jkd},$$

отсюда в соответствии с уравнением (7.9):

$$\ln P_j = \frac{\gamma}{8} \sum_{k=1}^4 \sum_{\substack{d=1 \\ k \neq d \neq j}}^4 \delta_{jkd}. \quad (7.10)$$

По табл. 7.6 СППР получает следующие значения сумм:

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq d}}^4 \sum_{d=1}^4 \delta_{1kd} = 13; \quad \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq d \neq 2}}^4 \sum_{d=1}^4 \delta_{2kd} = -11; \quad \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq d \neq 3}}^4 \sum_{d=1}^4 \delta_{3kd} = 19;$$

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq d \neq 4}}^4 \sum_{d=1}^4 \delta_{4kd} = -24,$$

подставляет эти значения в уравнение (7.10):

$$\ln P_1 = \frac{13}{8}\gamma, \quad \ln P_2 = -\frac{11}{8}\gamma; \quad \ln P_3 = \frac{19}{8}\gamma; \quad \ln P_4 = -\frac{21}{8}\gamma,$$

поскольку

$$P_j = \exp(\ln P_j).$$

СППР подставляет значения $\ln P_j$ в это уравнение. При $\gamma = \ln 2$ и после нормирования получает значения:

$$P_1 = 0,3497; \quad P_2 = 0,0437; \quad P_3 = 0,5882, \quad P_4 = 0,0184. \quad (7.11)$$

Таким образом, по оценке коллег лучшую оценку получил третий участник переговоров – его «значимость» наивысшая, а худшую – четвертый.

Схема согласования субъективных оценок эффективности стратегий и оперативных воздействий. Руководитель, получив от СППР необходимые данные и введя в них необходимые с его точки зрения коррективы, должен согласовать свои оценки с другими руководителями и экспертами.

СППР производит оценку каждого параметра и создает n списков типа А – согласованных оценок и n списков типа В – несогласо-

ванных. Согласование результатов анализа можно осуществлять по схеме рис. 7.1.

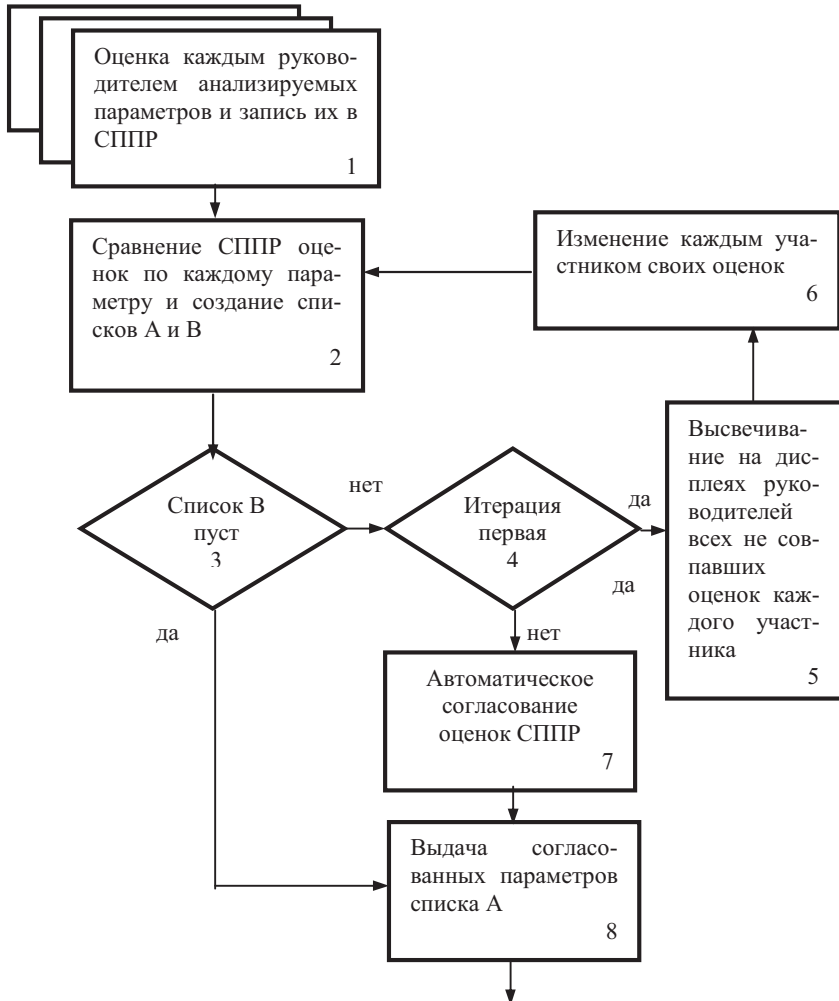


Рис. 7.1

Блок 1 – оценка каждым руководителем анализируемых параметров и их запись в СППР.

Блок 2 – сравнение СППР оценок по каждому j -му виду продукции. С этого блока начинается процесс согласования.

СППР определяет среднюю оценку каждого руководителя по каждому типу продукции (виду деятельности фирмы):

$$X_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k x_{ij}^k, \quad i = \overline{1, I}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (7.12)$$

где x_{ij}^k – оценка i -го параметра k -м руководителем по j -му виду продукции.

Если каждый руководитель и эксперт определил каждому свою «значимость» – P_k (см. выше), то формула (7.12) принимает вид:

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^k m_k x_{ij}^k, \quad i = \overline{1, I}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (7.13)$$

В результате СППР представляет каждому руководителю или эксперту таблицу, в которой каждая клетка таблицы состоит из двух строчек: в верхней строке указаны оценки, данные самим руководителем или экспертом, а в нижней – оценки, подсчитанные по формуле (7.12) или (7.13). *Заметим, что у каждого руководителя будет своя таблица, верхние строчки которой известны только ему и не известны другим руководителям.*

Каждый руководитель, сравнивая свои оценки с усредненными может в той или иной степени учитывать эти усредненные оценки, но они отнюдь не являются указанием, какие оценки ему ставить. После того как все руководители представили свои оценки, блок 2 проводит их сравнение и создает два списка параметров: список параметров А, по которым все лингвистические оценки параметров совпадают, и список параметров В, по которым списки параметров не совпадают.

Блок 3. СППР проверяет, пуст ли список В. Если пуст – переход к блоку 8, если нет - переход к блоку 4.

Блок 4 проверяет номер итерации. Если итерация первая - переход к блоку 5, если нет – к блоку 7. Вообще, итераций может быть сколь угодно много, но опыт показывает, что на последующих итерациях скорость сходимости падает или сближение оценок вообще

прекращается. Поэтому после первой (или первых) итераций лучше перейти к какому-либо методу их автоматического согласования. Один из таких методов был рассмотрен в гл. 2.

Блок 5. СППР высвечивает на дисплеях руководителей таблицу только с несовпавшими оценками.

Блок 6. Система просит руководителей внести свои коррективы в оценки. Переход к блоку 2.

Блок 7. Одним из способов автоматического согласования является голосование по результатам оценок.

В настоящее время разработано много процедур голосования. Важно отметить, что от выбора процедуры может зависеть ее результат, поэтому выбор процедуры может вызвать дискуссию, но процедура может быть определена и генеральным директором.

Пусть после первой итерации изменения своих оценок генеральный директор решил провести голосование по правилу абсолютного большинства, т.е. считать согласованными оценки тех параметров, за которые голосовали больше половины руководителей и экспертов. СППР сравнивает оценки параметров в списке В и определяет число руководителей, давших одинаковые оценки. Если оказалось, что у большинства руководителей оценки совпадают, – система записывает эти оценки в список А, ликвидируя список В, если нет – процедура согласования изменяется и согласование продолжается.

Блок 8. Выдача на дисплеи и запоминание списка А.

На этом согласование заканчивается.

Глава 8

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА СИНТАКСИЧЕСКОЙ И СЕМАНТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

8.1. Формальные языки и грамматики как средство компьютерной синтаксической генерации управленческих решений

Задача компьютерной генерации управляющих решений обычно возникает в тех случаях, когда требуется либо сформировать последовательность действий, которая должна привести к решению возникшей проблемы (такую последовательность часто называют сценарием), либо выбрать из заданного множества процессов или объектов (целей, стратегий, оперативных воздействий и т.п.) некоторое подмножество. Это подмножество должно быть в каком-то смысле лучше всех остальных и может состоять как из одного, так и из нескольких процессов или объектов.

Задача генерации управленческих решений может быть решена различными методами. Все они, так или иначе, сводятся к перебору дуг графа, описывающего создающуюся проблему. Поэтому решение задачи могло бы быть дано и в терминах теории графов. Однако с точки зрения перспектив решения подобных задач для графов со значительно более сложной структурой (например, когда на элементы графа накладываются различные условия) более перспективным может оказаться использование аппарата формальных грамматик.

Хорошо известно, что порождающие грамматики можно описывать как направленными графами, так и множеством грамматических правил, причем оба эти описания идентичны и взаимно однозначно отображаются одно в другое. Поэтому, если имеется направленный граф, описывающий возможные технологические последовательности выполнения операций, то из него можно автоматически получить

порождающую грамматику, описывающую этот процесс. С ее помощью можно сгенерировать все возможные (допустимые) сценарии решения проблемы. Рассмотрим понятие языка и один из методов описания формальных грамматик.

Языки и формальные грамматики. Интуитивно, язык – это множество предложений или последовательностей слов. Каждое предложение формируется из словаря языка в соответствии с заданными правилами формирования. Правила формирования называются грамматикой языка и определяют его структуру. Однако такое интуитивное определение языка и его грамматики для формального анализа и генерации совершенно недостаточно.

Для описания языка также необходимо использовать какой-либо язык. Язык, используемый для описания грамматики какого-либо языка, называется метаязыком. Если некоторый язык L_1 используется для того, чтобы описать некоторый другой язык L_2 , то язык L_1 называется метаязыком над L_2 .

Характерное свойство естественных языков (русского, английского и т.д.) состоит в том, что они могут быть использованы в качестве своих собственных метаязыков. И действительно, грамматика русского языка может быть написана на русском языке. Однако так как сам естественный язык допускает неоднозначность, то и описанные на нем правила трудно сделать однозначными и уж совсем нельзя сделать их строго формализованными. В описании каждого языка, т.е. в его грамматике, обычно различают синтаксис и семантику.

Синтаксис – это множество формальных правил вывода правильно настроенных строк или предложений языка.

Семантика – смысловое, содержательное значение каждого такого правила.

Для формального описания синтаксиса разработано несколько метаязыков, наибольшее распространение получил метаязык Бэкуса (называемый иногда нотацией Бэкуса), разработанный им для описания АЛГОЛа [8.1]. В дальнейшем мы будем использовать этот язык.

Метаязык Бэкуса – это список синтаксических правил или, как их иногда называют, правил подстановки, имеющих вид $U \rightarrow u$, где u – строка символов, каждый символ которой принадлежит либо формальному языку, либо описывающему его метаязыку; U – символ, принадлежащий метаязыку.

Символ \rightarrow обозначает слова «является», «это», «определяет». U называется левой частью правила, y – правой.

Например:

$\langle \text{цифра} \rangle \rightarrow 0$

$\langle \text{цифра} \rangle \rightarrow 1$

.

.

.

$\langle \text{цифра} \rangle \rightarrow 9$

означают соответственно $\langle \text{цифра} \rangle$ это 0, $\langle \text{цифра} \rangle$ это 1, ..., $\langle \text{цифра} \rangle$ это 9.

Здесь понятие $\langle \text{цифра} \rangle$ задано простым перечислением.

Такое перечисление можно задать также следующим образом:

$\langle \text{цифра} \rangle \rightarrow | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9$

В более сложных случаях понятия вводятся рекурсивно, например:

$\langle \text{идентификатор} \rangle \rightarrow \langle \text{буква} \rangle$

$\langle \text{идентификатор} \rangle \rightarrow \langle \text{идентификатор} \rangle \langle \text{буква} \rangle$

$\langle \text{идентификатор} \rangle \rightarrow \langle \text{идентификатор} \rangle \langle \text{цифра} \rangle$

означает: идентификатор - это последовательность букв и цифр, начинающихся с буквы. Понятие $\langle \text{идентификатор} \rangle$ встречающееся в правой части синтаксического правила, уже рекурсивно определено в первом случае как буква, во втором - как последовательность букв, в третьем - как последовательность букв и цифр, начинающихся с буквы.

Для описания семантики сколько-нибудь эффективных и общепризнанных формализованных методов пока нет. Их отсутствие вызывает серьезные трудности в устранении неоднозначности формальных языков.

Фактически неоднозначность в формальном языке, в том числе и в языке программирования, не допускается. Но пока это достигается не только методами формального описания языка, но средствами трансляции или генерации.

Для того чтобы описать формальный язык, как и любой язык, в том числе и естественный, необходимо задать его алфавит, словарь и правила построения предложений, т.е. грамматику языка.

Алфавит - это непустое конечное множество элементов. Назовем элементы языка символами.

В дальнейшем мы не будем делать различия между словом языка или описывающего его метаязыка и знаком алфавита, объединив эти два понятия в понятие “символ”.

Символом будем называть минимальную по числу знаков конструкцию, используемую в данном формальном языке или описывающем его метаязыке, которая имеет самостоятельное значение. Это может быть одна буква, например, A, B, L ; знак операции, например, $+, >, \wedge$, разделитель, например, $[,]$, одно слово или группа слов, например *begin, go to* и т.д.

Необходимо специально оговорить случай группы слов, так как во многих формальных языках имеют место случаи, когда смысл имеют только определенные комбинации слов, а каждое слово в этой комбинации, взятое в отдельности, смысла не имеет. Символы будем обозначать: словами (под словом понимается и отдельная буква), написанными прописными латинскими буквами; словами, написанными прописными русскими буквами, взятыми в угловые скобки, знаками операций и разделителей. Например: $A, \text{begin}, \langle \text{идентификатор} \rangle, (, +, B, C, *, \langle \text{блок} \rangle$ являются символами языка.

Множество символов языка обозначим через V и разделим на два подмножества.

1. Подмножество символов, принадлежащих собственно формальному языку. Это подмножество назовем подмножеством конечных или терминальных символов и обозначим его через V_T . Символы этого подмножества называются конечными (терминальными), потому что в дереве анализа (см. ниже) эти символы всегда оказываются в конечных узлах. Так, для многих формальных языков, в том числе и языков программирования, конечными символами являются, например, $\pm, =, \text{go to}, \text{end}, \text{if}$, и т.д.

2. Подмножество символов, относящихся только к метаязыку. Символы этого подмножества будем называть нетерминальными и обозначим это подмножество V_N . Символы называются нетерминальными потому, что в дереве анализа они не могут соответствовать его конечным узлам. К этому подмножеству относятся символы $\langle \text{идентификатор} \rangle, \langle \text{блок} \rangle, \langle \text{терм} \rangle, \langle \text{программа} \rangle$ и т.д.

В естественных языках из слов формируются предложения. В формализованной теории языка введем понятие строки, аналогичное понятию предложения в естественных языках.

Строкой назовем последовательность терминальных и нетерминальных символов данного языка, образованную в соответствии с правилами грамматики рассматриваемого языка. Строку будем обозначать строчными латинскими буквами, например, a, b, x, y, z . Для пустой строки введем специальный символ ε .

Множество всех строк, образованных из символов множества V , обозначим через V^* .

Если через z обозначим любую строку, принадлежащую V^* , через x - некоторую заданную строку (возможно, пустую, тоже принадлежащую V^*), через U - любой символ, принадлежащий V , то множество всех строк можно определить следующим образом:

$$V^* = \{z \mid z = \varepsilon, z = xU\}, z, x \in V^*, U \in V,$$

т.е. множество всех строк состоит из строк, которые либо могут быть пустыми, либо могут состоять из строк, генерированных присоединением произвольного символа к некоторым исходным строкам (в том числе и пустым).

Например, если $V = \{C, D\}$, то $V^* = \{\varepsilon C, D, CDD, CCD, \dots\}$.

Заметим, что V^* - множество бесконечное. Множество всех синтаксических правил конкретного формального языка, записанных на некотором метаязыке (например, языке Бэкуса), обозначим буквой P .

Будем говорить, что строка x непосредственно порождает строку y относительно P ($x \rightarrow y$) тогда и только тогда, когда существуют строки u, w (возможно, пустые) такие, что $x = uVw$ и $V \rightarrow z \in P$.

Например, пусть правила P_1 заданы следующим набором правил:

$$p_1: A \rightarrow BCD; p_2: B \rightarrow BC; p_3: D \rightarrow CD; p_4: B \rightarrow C; p_5: D \rightarrow C.$$

Тогда относительно этого ряда правил возможно непосредственное порождение:

$$BCD \rightarrow BCCD.$$

В нашем примере можно положить $x = BCD$, $y = BCCD$, $V = B$, $z = BC$, $u = \varepsilon$, $w = CD$, $B \rightarrow BC \in P$, но можно также интерпретировать это непосредственное порождение следующим образом: $x = BCD$, $y = BCCD$, $V = D$, $z = CD$, $u = BC$, $z = \varepsilon$, $D \rightarrow CD \in P$.

Таким образом, символ $\dot{\rightarrow}$ означает, что один символ слева от $\dot{\rightarrow}$ в соответствии с правилами грамматики заменяется цепочкой, находящейся справа от $\dot{\rightarrow}$.

Будем говорить, что строка x порождает строку y относительно $P(x \dot{\rightarrow} y)$ тогда и только тогда, когда существует последовательность строк $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$, такая, что $x = x_0$, $y = x_n$, $x_{i-1} \dot{\rightarrow} x_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $V \rightarrow z \in P$).

Используя синтаксис P_1 , можно записать порождение:

$$BCD \dot{\rightarrow} BCCCCD.$$

Здесь $x = x_0 = BCD$, $y = BCCCCD$;

$$x_0 \dot{\rightarrow} x_1 = BCCD, V = B, z = BC, u = \varepsilon, w = CD;$$

$$x_1 \dot{\rightarrow} x_2 = BCCCD, V = B, z = BC, u = \varepsilon, w = CCD;$$

$$x_2 \dot{\rightarrow} x_3 = BCCCCD, V = B, z = BC, u = \varepsilon, w = CCCD.$$

Таким образом, используя порождения строк относительно синтаксиса данного языка, можно генерировать строки, формально принадлежащие этому языку.

Введем понятие начального нетерминального символа, порождающего любую строку языка. Это выделенный нетерминальный символ, обозначающий совокупность (класс) всех тех языковых объектов, для описания которых предназначается данная грамматика.

Формально начальный нетерминальный символ S определяется следующим образом:

$$S \dot{\rightarrow} z, S \in V_N, z \in V^*.$$

Формальной грамматикой назовем упорядоченную четверку

$$G = (V_N, V_T, P, S),$$

где V_N и V_T - непересекающиеся множества нетерминальных и терминальных (соответственно) символов данной грамматики. P - множество синтаксических правил грамматики, S - начальный нетерминальный символ.

Формальная грамматика, которая для любой предъявленной цепочки умеет решать, является эта цепочка правильной или нет, называется распознающей.

Формальная грамматика, которая умеет строить любую правильную цепочку, давая указания об ее строении, не генерируя при этом ни одной неправильной цепочки, называется порождающей.

Пример. Формальную грамматику $G = (V_N, v_T, P, S)$ можно задать следующими правилами P .

$p_1: \langle \text{арифметическое выражение } (+, *) \rangle: \rightarrow E$

$p_2: E \rightarrow T$

$p_3: T \rightarrow T * P$

$p_4: E \rightarrow T + E$

$p_5: T \rightarrow P$

$p_6: E \rightarrow c$

$p_7: T \rightarrow a$

$p_8: P \rightarrow b.$

Тогда $V_N = \{ \langle \text{арифметическое выражение } (+, *) \rangle, E, T, P \}$;

$V_T = \{ a, b, c, +, * \}$;

$S = \langle \text{программа} \rangle.$

Порождение арифметического выражения по этой грамматике можно задать следующим образом:

$\langle \text{арифметическое выражение } (+, *) \rangle \rightarrow E \rightarrow T \rightarrow T * P \rightarrow a * P \rightarrow a * b,$

т.е.:

$\langle \text{арифметическое выражение } (+, *) \rangle \rightarrow a * b.$

Подчеркнем, что формальная грамматика не является алгоритмом. Множество синтаксических правил P – не последовательность предписаний, а совокупность разрешений выполнять заданные подстановки.

Это означает, что правило $A \rightarrow l$ в распознающей грамматике понимается, как « l можно заменить на A », а в порождающей, как « A можно заменить на l », причем эта замена может быть произведена только в определенных условиях. В каких случаях такая замена производится, обсуждается ниже.

Теперь можно ввести формальное определение языка порождаемого грамматикой. Язык L_G , порождаемый грамматикой $G = (V_N, V_T, P, S)$, это совокупность всех терминальных цепочек, выводимых из начального символа S в грамматике G , т.е. язык определяется следующим множеством:

$$L_G = \{ x / x \in V_T^*, S \rightarrow x \}. \quad (8.1)$$

Например, если

$$V_N = \{ S, A \}, V_T = \{ B, C \},$$

$$P = \{ S \rightarrow A; A \rightarrow B, A \rightarrow CA \},$$

то:

$$L_G = \{B, CB, CCB, CCCB, \dots\}.$$

Генерирование строк языка может быть представлено деревом (рис. 8.1). Заметим, что в графе, показанном на рис. 8.1, терминальные символы C и B не порождают новых символов, их порождают только нетерминальные символы A и S .

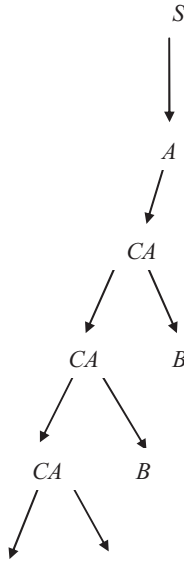


Рис. 8.1

Язык (8.1) состоит только из терминальных символов, но часто используют языки, строки которых состоят как из терминальных, так и нетерминальных символов. Тогда язык L_G будет определяться порождением (8.2):

$$L_G = \{x / x \in V^*, S \rightarrow x\}, \quad (8.2)$$

где $V = V_N \cup V_T$. То есть в грамматике (8.2) отличие терминальных символов от нетерминальных только в том, что терминальные символы не могут стоять в левой части грамматических правил.

Таким образом, используя функции порождения строк относительно синтаксиса этого языка, можно генерировать строки, формально принадлежащие этому языку, т.е. отвечающие синтаксическим правилам рассматриваемого языка. Но эти строки могут оказаться семантически совершенно бессмысленными. Известным примером предложения, правильного синтаксически, но совершенно неверного семантически, является фраза “Глокляя куздра болданула макленка”.

Различные грамматики могут порождать один и тот же язык. Грамматики G_1 и G_2 называются эквивалентными, если порождаемые ими языки L_{G_1} и L_{G_2} равны. Эквивалентные преобразования грамматик могут быть вызваны требованием удобного выбора подпрограмм, реализующих отдельные конструкции языка, ускорения процесса трансляции и генерации текста.

Отметим, что проблема определения эквивалентности двух грамматик алгоритмически разрешима только для узкого класса языков, а именно языков типа 3 (см. ниже), для других языков эта задача разрешима только для некоторых случаев.

Формальное определение языка позволило ввести их классификацию в соответствии с теми ограничениями, которые наложены на множество P грамматики языка. Наибольшее распространение получила классификация Хомского [8.2], который разделил языки в соответствии с описывающими их грамматиками на четыре типа.

К типу 0 он отнес языки, на синтаксические правила которых не наложено никаких ограничений.

К типу 1 принадлежат языки, синтаксические правила которых могут только следующий вид:

$$xAy \rightarrow xay \quad (x, y \text{ могут быть пустыми}).$$

Этот тип языка называется контекстно зависимым, так как синтаксическое правило справедливо только в контексте строк, окружающих A , т.е. x и y .

К типу 2 относятся языки, синтаксические правила которых могут быть представлены только в виде:

$$A \rightarrow a.$$

Язык типа 2 называется контекстно-свободным или бесконтекстным, так как значение A не зависит от окружающего его контекста.

В языках типа 3 синтаксические правила строго ограничены одной из форм $A \rightarrow B$ или $A \rightarrow BC$, где $A, C \in V_N, B \in V_T$.

Языки этого типа обычно называют языками конечных автоматов, потому что их грамматики могут быть представлены и проанализированы аппаратом конечных автоматов.

Заметим, что один и тот же язык во многих случаях может быть описан грамматиками разных типов. В этом смысле грамматики разных типов могут оказаться эквивалентными.

Наибольший интерес представляет грамматики типа 1 и 2.

Для грамматик, описываемых направленной сетью без циклов (граф рис. 8.1), алгоритм построения контекстно-свободной грамматики системой поддержки принятия решений достаточно прост.

1. В качестве начального символа S выбирается символ, обозначающий вершину, в которую не входит ни одна дуга (начальную вершину). Если таких вершин несколько – создается фиктивная начальная вершина.

2. В качестве терминальных символов V_T выбираются символы, обозначающие вершины, из которых не выходит ни одна дуга. Это всегда только заключительные действия.

3. В качестве нетерминальных символов V_N используем символы, из которых выходят дуги, соединяющие их с другими вершинами.

4. Множество грамматических правил P определяется дугами, соединяющими пары вершин. Исходная вершина определяет левую часть грамматического правила, а вершина, в которую входит дуга – правую. Связь вершин определяется семантикой грамматики. На этом построение грамматики закончено.

Выше уже отмечалось, что процесс порождения (или анализа) строк грамматики может быть представлен на языке графов. Пример такого представления дан на рис. 8.1. Но каждый граф может быть представлен матрицей. Из этого следует, что для описания правил порождения строк могут быть использованы матрицы. Так для описания грамматики, порождающей язык (8.1) можно использовать матрицу, показанную в табл. 8.1. Строки матрицы образуют нетерминальные символы, а столбцы – все символы грамматики как терминальные, так и нетерминальные. Клетка матрицы, в которой представлен знак «*» определяет правило порождения нетерминальным

символом строки терминального символа столбца. Если нетерминальный символ непосредственно порождает строки, то их также приходится представлять в виде столбца матрицы. В нашем случае это столбец CA .

Таблица 8.1

	S	A	B	C	CA
S		*			
A			*		*

Если какие-либо символы непосредственно не порождаются ни одним правилом грамматики, – они образуют пустые столбцы матрицы, это столбцы символов S и C . Такие пустые столбцы могут быть вычеркнуты из матрицы. Рассмотрим иллюстративный пример.

8.2. Пример компьютерного синтаксического порождения грамматикой сценариев ликвидации последствий аварийного разлива нефти

Для ликвидации последствий разлива нефти в гавани возможно выполнение следующего набора операций (действий).

- A. Активизация командного центра.
- B. Сбор и приведение в готовность местного оборудования.
- C. Закрытие гавани.
- D. Доставка дополнительного оборудования по воздуху.
- E. Создание механических заграждений.
- F. Распыление химических веществ.
- G. Использование механических средств для снятия пленки.
- H. Использование биологических веществ.
- I. Использование горючих веществ.
- J. Очистка побережья.

Для того чтобы по приведенному выше алгоритму построить грамматику надо задать возможную последовательность перечисленных выше действий.

Заключительной операцией является очистка побережья (операция J). Все остальные операции могут порождать после себя другие, но только в определенном порядке. Это значит, что множество V_T

грамматики состоит из единственного символа J ($V_T = \{J\}$) а множество V_N их всех остальных символов $V_N = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I\}$.

Порядок следования операции может быть задан в виде матрицы, показанной в табл. 8.2 или в виде множества грамматических правил (8.3). Таблицу или правила формирует специалист, задающий возможную последовательность операций. Знак «*», стоящий в клетке на пересечении строки и столбца табл. 8.2, указывает, что после операции, указанной в строке, может следовать операция, указанная в столбце. Аналогично множество грамматических правил (8.3) показывает, что после операции, символ которой стоит в левой части правила, может следовать операция, символ которой стоит в правой части.

Таблица 8.2

	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
<i>S</i>		*									
<i>A</i>			*	*							
<i>B</i>					*	*	*	*	*	*	
<i>C</i>			*								
<i>D</i>						*	*	*	*	*	
<i>E</i>								*		*	
<i>F</i>									*		*
<i>G</i>									*		*
<i>H</i>											*
<i>I</i>								*			
<i>J</i>											

$$\begin{aligned}
 &S \rightarrow A; B \rightarrow D; B \rightarrow H; D \rightarrow G; E \rightarrow I; G \rightarrow J; \\
 &A \rightarrow B; B \rightarrow E; B \rightarrow I; D \rightarrow H; F \rightarrow H; H \rightarrow J; \\
 &A \rightarrow C; B \rightarrow F; D \rightarrow E; D \rightarrow I; F \rightarrow J; I \rightarrow G; \\
 &C \rightarrow B; B \rightarrow G; D \rightarrow F; E \rightarrow G; G \rightarrow H.
 \end{aligned}
 \tag{8.3}$$

Еще раз подчеркнем, что множество грамматических правил, показанное на табл. 8.2, и в наборе (8.3) – эквивалентны.

Все возможные строки, порожденные грамматикой (8.3) или табл. 8.2, в соответствии с определением языка (8.2) показаны на рис. 8.4. Каждый символ на рис. 8.2 означает операцию, а ветвь графа – последовательность операций, т.е. сценарий.

Генерация множества возможных сценариев является безусловным достоинством метода. Он может подсказать руководителю вариант, который он забыл, просмотрел или о котором просто не подумал.

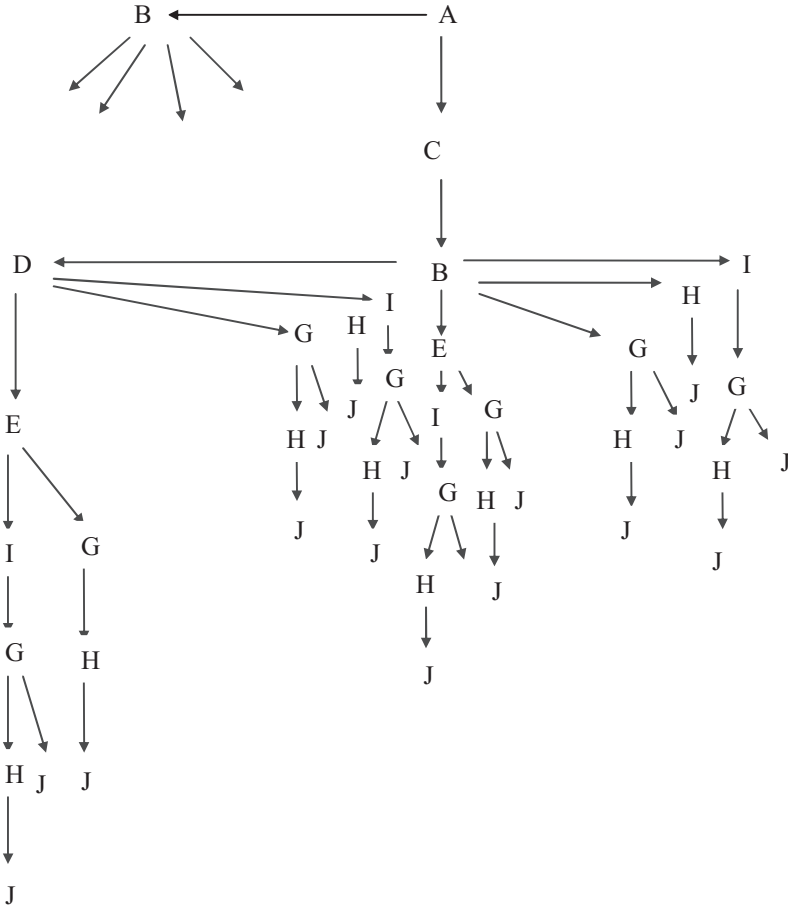


Рис. 8.2

Из этого множества СППР должна выбрать один или 2-3 сценария для представления их руководителю, который и принимает

окончательное решение. Но оценка и ранжирование сценариев в этом разделе не рассматриваются.

В этих двух разделах рассмотрены грамматики, порождающие только последовательные действия, без учета времени их выполнения. Существует более сложный аппарат параллельно-временных порождающих грамматик, позволяющий описывать параллельные процессы с учетом времени их выполнения. Они рассмотрены, например, в [8.3, 8.4].

8.3. Семантическая генерация новых стратегий с помощью СППР

В разд. 8.1 и 8.2 рассматривались методы генерации сценариев (последовательности действий) с помощью хорошо разработанного в настоящее время аппарата формальных языков и грамматик, использующих их синтаксическое описание. В последующих разделах используем семантические содержательные методы генерации стратегий.

На всякое отклонение от ожидаемого результата, фиксируемое в процессе мониторинга, система управления формирует управляющее воздействие, в результате которого процесс или объект должен приблизиться или достигнуть желаемого состояния. Такие воздействия обычно подразделяют на оперативные – выполняемые по заранее предписанным правилам и не меняющие общую направленность процесса и стратегические. Стратегическое воздействие может коренным образом изменить характер функционирования управляемого объекта [8.5, 8.6]. При смене стратегий перед руководством всегда встают две проблемы: выбор новой стратегии и определение момента начала ее реализации.

Характерным примером смены стратегий, хотя и не имеющим отношения к нефтегазовой промышленности, является история известной фирмы SAAB. Ее аббревиатура происходит от шведского названия фирмы Svenska Aeroplan Aktive Bolag (Шведская авиационная корпорация). Она была создана в 1938г. с целью производства боевых самолетов для шведских ВВС в предвидении опасности второй мировой войны. Этим она и занималась. В 1944г. производство фирмы, предвидя близкое окончание войны, стало думать о

диверсификации производства. Были выбраны две стратегии: производство пассажирских самолетов и производство легковых автомобилей. Вторая стратегия оказалась чрезвычайно успешной, первая – нет.

Хорошо известно, что одна и та же цель может быть достигнута различными путями, то есть реализацией различных стратегий. Оперативные воздействия относятся к правилам нормативного поведения, они определяются набором правил в рамках реализуемой стратегии. Однако находиться в рамках нормативного поведения оказывается не всегда возможно. В таких случаях реализуется поведение, определяемое сложившейся обстановкой. Оно часто называется ситуационным. Необходимость изменения стратегий в большинстве случаев относится к ситуационному поведению. Для ситуационного поведения можно предусмотреть некоторый набор вариантов поведения, основанный на оценке возможных изменений обстановки.

Ситуационное изменение стратегий реализации цели обычно основывается в первую очередь на оценке эффективности реализуемой в настоящий момент стратегии и попытке прогнозировать результаты реализации вновь выбранной стратегии.

Оценка эффективности выполняемой стратегии зависит от:

- достоверности и полноты результатов мониторинга;
- набора критериев, по которым производится оценка;
- алгоритмов оценки.

Компьютерные средства мониторинга позволяют получать достаточно полную и достоверную информацию об управляемом процессе, давая возможность производить оценки по каждому критерию с частотой, устанавливаемой руководителем. В зависимости от характера процесса частота оценок может колебаться в очень широком диапазоне – от часов до месяцев.

Какими бы ни были наборы критериев и алгоритмы оценки эффективности реализации стратегии, результатом должно быть либо подтверждение правильности выбранной стратегии, либо предложение сменить стратегию достижения поставленной цели.

Если показатели по всем критериям находятся в пределах нормы, установленной руководителем, или приводятся в норму путем стандартных оперативных воздействий, то обычно стратегию не меняют. Если эти условия не выполняются – необходимо изучать воз-

возможности смены стратегии. Для того чтобы СППР могла выдавать соответствующие рекомендации, в нее должны быть заложены алгоритмы обработки анализа результатов мониторинга и выработки рекомендаций. Эти алгоритмы могут базироваться на:

- правилах, основанных на семантических качественных субъективных оценках;
- правилах, основанных на количественных оценках;
- комбинации этих двух подходов.

Начнем с рассмотрения первого подхода.

А. Компьютерное формирование схемы семантической генерации нового набора стратегии [8.7]

Анализ каждого явления, процесса или объекта начинается с его смысловой (семантической) оценки. Семантическая оценка обычно трудно поддается формализации, но для хорошо известных объектов попытаемся такую задачу выполнить по схеме, показанной на рис. 8.3-а. Назовем ее схемой семантической генерации или схемой семантического вывода, реализуемой системой поддержки принятия решений. Назначение этой схемы по содержательной оценке критерия, представляемой руководителю системой мониторинга, и задаче, формируемой руководителем на основании этой оценки, предложить набор возможных стратегий, способных в сложившейся ситуации обеспечить достижения цели. Схему рис. 8.3-а легко представить в виде графа семантического вывода, показанного на рис. 8.3-б.



Рис. 8.3-а

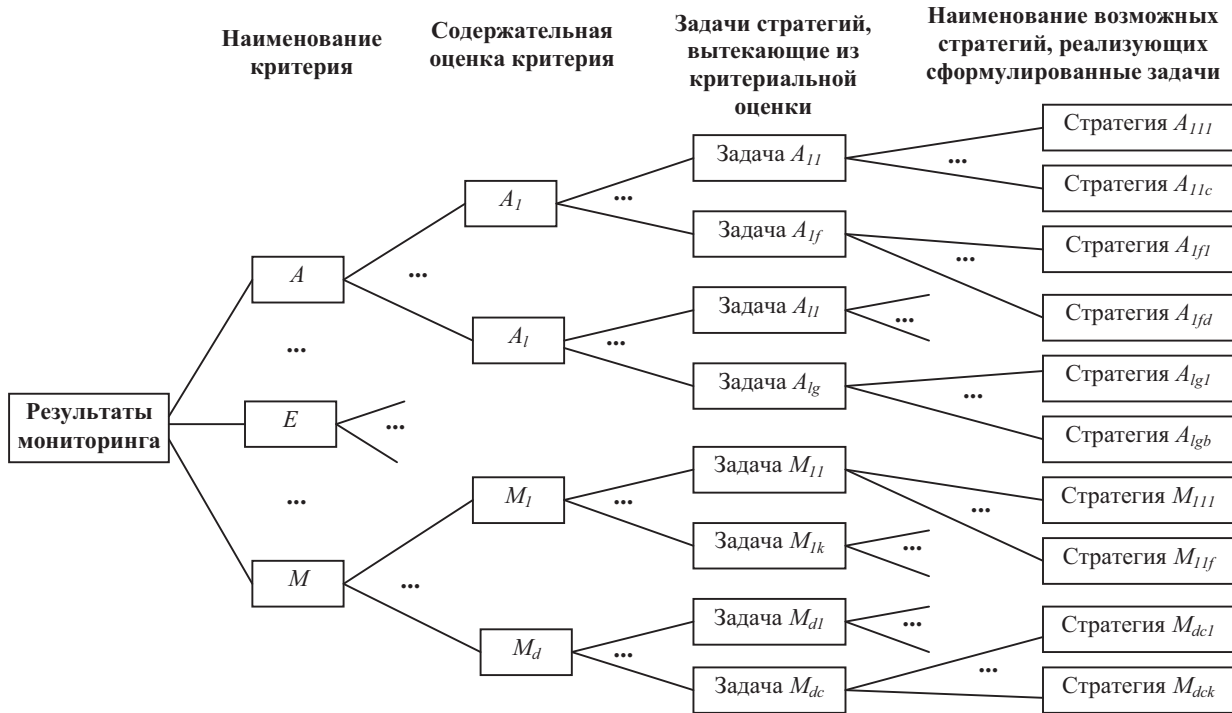


Рис. 8.3-б

Для каждой конкретной предметной области она может быть отображена в множество грамматических правил, но нагляднее представить ее в виде набора таблиц, хранящихся в памяти системы и при необходимости, высвечиваемых на дисплеях экспертов и руководителей. Примером такой таблицы является табл. 8.3. Таблицы будем строить на основании списков заранее согласованных критериев, стратегий и задач их реализации. Их примеры приведены в списках 1, 2 и 3.

Список 1 – это список критериев, по которым будут оцениваться стратегии, реализуемые в момент оценки. Набор используемых критериев зависит от субъективных оценок руководства, от их видения проблемы и характера цели, которую стремится достичь организация. Для всякой конкретной области приложений существует свой более менее устоявшийся набор критериев, который может варьироваться в зависимости от сложившейся обстановки и субъективных предпочтений руководителей.

Определение критериев оценки – важный момент. Первое желание руководителя – указать как можно больше критериев, пытаюсь связать каждый признак с самостоятельным критерием. Увеличение числа критериев, как будто, должно повышать точность решения задачи, так как учитывается большее число факторов. С другой стороны – если эти факторы учитываются неверно, то увеличивается величина ошибки.

При оценке вариантов решений важное значение имеет проблема иррелевантности значений, т.е. смешанность полезных знаний с бесполезными. Последние лишь осложняют обработку знаний [8.8]. Известно [8.9], что около 90% нейронных окончаний являются запрещенными и служат для игнорирования и подавления сигналов от органов чувств, т.е. для отсекающей бесполезной информации. Одним из средств отсекающей мало значащей информации в рассматриваемом ниже контексте – отсекающей факторов и процессов, не имеющих большого значения для принимаемого решения и выделение важных, является определение «весов» (важности) критериев.

Выше уже отмечалось, что компьютерные технологии должны использовать как объективные данные, так и субъективные оценки руководителя, причем эти субъективные оценки должны быть формализованы.

Одной из таких формализованных оценок является значение критерия. Напомним, что критерии – это признаки, по которым производится оценка соответствия функционирования системы желаемому результату. «Система критериев является ни чем иным, как формализацией наших пожеланий и требований к качествам синтезируемого объекта или процесса» [8.10]. Смысл критериальной оценки заключается в том, что она связывает субъективную оценку руководителя с параметром, имеющим четкий физический смысл. Например, «10 000 долларов – дорого». Требования к проекту можно сформулировать, перечисляя критерии, которым должна соответствовать система и указывая значимость («вес») каждого критерия. Система поддержки переговоров может предложить список критериев, который руководитель дополняет или сокращает, (так сделано, например, в [8.11]).

Составление списка критериев часто требует длительного обсуждения, в процессе которого возникают острые споры. Методы формирования набора критериев и их согласования с помощью СППР подробно рассмотрены в [8.12, 8.13]. Будем считать, что набор критериев согласован экспертами и руководством и представлен в виде списка 1.

Список 1.

1. Уровень спроса продукции.
2. Перспективность технологии производства.
3. Эффективность оперативного управления.
4. Оценка продукции по рекламациям и жалобам.
5. Цены сравнительно с ценами конкурентов.
6. Современность данного типа продукции.
7. Своевременность и надежность поставок продукции.
8. Удобство эксплуатации по сравнению с аналогичной продукцией конкурентов.
9. Появление изделий конкурентов с новыми технологиями функционирования.

Заметим, что критерий 3 – «эффективность оперативного управления» создает первую связь между оперативным и стратегическим управлением.

Помимо списка критериев формируется и согласовывается с помощью СППР список возможных стратегий. Его разработка может оказаться еще более сложным процессом, чем формирование списка крите-

риев. Методы генерации списка возможных стратегий с помощью СППР подробно рассмотрены в [8.13]. Показанный ниже список 2 – это возможные стратегии, которые могут заменить или дополнить стратегии, оказавшиеся неэффективными (получившие низкие оценки).

Список 2.

1. Увеличение объемов производства и услуг данного типа за счет расширения собственных средств.
2. Приобретение фирмы с необходимой специализацией.
3. Сокращение объемов производства и услуг данного типа за счет ликвидации части аппаратуры, сокращения персонала и т.п.
4. Отказ от производства продукции и услуг данного типа.
5. Повышение качества продукции.
6. Изменение технологии производства и услуг.
7. Изменение технологии функционирования производимой продукции и услуг.
8. Повышение надежности и точности поставок продукции.
9. Разработка нового типа продукции.
10. Проверка правильности реализуемой стратегии.

Такие списки, представленные руководителям системой поддержки принятия решений, могут оказаться полезными, напоминая руководителям о критериях и стратегиях, использовавшихся раньше и, расширяя поле выбора за счет стратегий, которые вносились в этот список в процессе анализа действий конкурентов и партнеров. Эти списки могут быть расширены за счет новых стратегий или критериев, предложенных руководителем и экспертом и внесенных ими в память СППР.

Помимо списков 1 и 2 должен быть сформирован список 3, определяющий возможные задачи (цели) стратегий, дополняющих или заменяющих те, которые реализуются на момент оценки. Замечания, сделанные по спискам 1 и 2, относятся также и к списку 3.

Список 3.

1. Завоевание максимальной части рынка своими средствами.
2. Завоевание максимальной части рынка за счет привлечения других организаций.
3. Концентрация сил и средств на оставшихся видах производства и услуг.
4. Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности.

5. Производство более дешевой и/или качественной продукции и услуг.

6. Повышение удобства использования представляемой информации и услуг.

7. Проведение анализа тенденций изменения рынка.

Теперь рассмотрим таблицу 8.3, представляющую схему семантического вывода рис. 8.3. Первые два этапа вывода схемы рис. 8.3 представлены первыми столбцами табл. 8.3. Они формируют содержательную оценку сложившейся ситуации. Третий этап схемы определяет задачу, которая должна быть выполнена в соответствии с оценкой ситуации, данной в первых двух столбцах. Эта задача сформулирована в третьем столбце табл. 8.3. Наконец, четвертый этап схемы рис. 8.3 определяет стратегию, которая в сложившейся ситуации должна реализовать сформированную задачу, она показана в четвертом столбце табл. 8.3.

Схема рис. 8.3 и иллюстративный пример этой схемы, показанный в табл. 8.3, являются продуктом серьезной работы по анализу возможного изменения ситуации, который отражается в динамике критериальных оценок, полученных в результате мониторинга. Результатом этого анализа является формулировка задач, вызванных вновь появившимися критериальными оценками изменившейся ситуации и нахождением стратегий, реализующих эти задачи.

Таким образом, таблица типа табл. 8.1 – это возможный план перехода к новым стратегиям в зависимости от динамики изменения внешней среды (в нашем примере рынка) и внутреннего состояния организации. Он позволяет СППР подсказать руководителю и эксперту новые задачи, возникающие при изменении критериальных оценок (обстановки) и сформулировать новые стратегии для выполнения этих задач. Такой план составляется заранее, периодически согласовывается экспертами и руководителями. Методы согласования аналогичны рассмотренным ранее и тем, которые будут рассмотрены ниже.

Таблица 8.3

Наименование критерия	Содержательная оценка критерия	Задачи стратегий, вытекающие из критериальной оценки	№ и наименование возможных стратегий, реализующих сформулированные задачи*	Идентификатор стратегий**
1	2	3	4	5
1. Уровень спроса продукции*	Бурный рост сбыта продукции и услуг фиксированного типа	Завоевание максимальной части рынка своими средствами	1. Увеличение объемов производства и услуг данного типа за счет собственных средств.	q_1
	Спрос продукции и услуг опережает предложение	Завоевание максимальной части рынка своими средствами	1. Увеличение объемов производства и услуг данного типа за счет собственных средств	q_1
		Завоевание максимальной части рынка за счет привлечения других организаций	2. Приобретение фирмы с необходимой специализацией	q_2
	Предложение продукции и услуг данного типа опережает спрос	Проведение анализа тенденций изменения рынка	10. Проверка правильности реализуемой стратегии	m
	Сбыт продукции и услуг данного типа сокращается	Концентрация сил и средств на оставшихся видах производства и услуг	3. Сокращение объемов производства и услуг данного типа за счет ликвидации части аппаратуры, сокращения персонала и т.п..	q_3
	Сбыт продукции и услуг данного типа под угрозой	Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности	4. Отказ от производства продукции данного типа	q_4

2. Перспективность технологий производства	Устаревшая технология	Производство более дешевой и/или качественной продукции и услуг	6. Изменение технологии производства и услуг	q_6
	Перспективная технология		Стратегия не меняется	
3. Эффективность оперативного воздействия	Возможно управление посредством оперативных воздействий	Завоевание максимальной части рынка своими средствами	Стратегия не меняется	
		Завоевание максимальной части рынка за счет привлечения других организаций	2. Приобретение фирмы с необходимой специализацией	q_2
	Оперативные воздействия не дают необходимых результатов	Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности	4. Отказ от производства продукции данного типа	q_4
		Производство более дешевой и/или качественной продукции и услуг	7. Изменение технологий функционирования производимой продукции и услуг	q_7
4. оценка продукции по рекламациям и жалобам	Производится качественная продукция и услуги		Стратегия не меняется	
	Качество продукции и услуг – недостаточно высокое	Улучшение качества продукции и услуг	8. Повышение надежности и точности поставок продукции	q_8
	Качество продукции и услуг – низкое	Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности	4. Отказ от производства продукции и услуг данного типа	q_4

5. Цены сравнительно с ценами конкурентов	Ниже цен конкурентов		Стратегия не меняется	
	Сравнимы с конкурентами	Проведение анализа тенденций изменения рынка	10. Проверка правильности реализуемой стратегии	m
	Выше, чем у конкурентов	Производство более дешевой и/или качественной продукции и услуг	6. Изменение технологии производства и услуг	q_6
6. Современность данного типа продукции	Современный		Стратегия не меняется	
	Устаревший	Изменение типа продукции	9. Разработка нового типа продукции	q_9
7. Своевременность и надежность поставок продукции	Выше, чем у конкурентов		Стратегия не меняется	
	Сравнима с конкурентами	Проведение анализа тенденций изменения рынка	10. Проверка правильности реализуемой стратегии	m
	Ниже, чем у конкурентов	Повышение своевременности и надежности поставок	8. Повышение надежности и точности поставок продукции	q_8
8. Удобство эксплуатации по сравнению с аналогичной продукцией конкурентов	Выше, чем у конкурентов		Стратегия не меняется	
	Сравнимо с конкурентами	Проведение анализа тенденций изменения рынка	10. Проверка правильности реализуемой стратегии	m
	Ниже, чем у конкурентов	Повышение удобства эксплуатации поставляемой продукции	5. Повышение качества поставляемой продукции и услуг	q_5

9. Появление изделий конкурентов с новыми технологиями функционирования	Появились в продаже	Выпуск более дешевой и/или качественной продукции и услуг	7. Изменение технологий функционирования производимой продукции и услуг	q_7
		Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности	4. Отказ от производства продукции и услуг данного типа	q_4
	Не появились		Стратегия не меняется	

Примечание:

* Номера критериев и стратегий пронумерованы согласно заранее составленным спискам №№1 и 2.

** Идентификаторы стратегий введены для удобства ссылок в дальнейшем.

Звездочка в табл. 8.4 указывает на противоречивость требований стратегий, обозначенных соответствующими идентификаторами в табл. 8.3.

В. Компьютерная поддержка семантической генерации новых стратегий

Для поддержки семантической генерации новых стратегий СППР проводит анализ рынка и состояния рынка. Анализ состояния рынка начнем проводить по схеме семантического вывода.

Для проведения анализа СППР высвечивает на дисплеях экспертов таблицу типа табл. 8.5. Первый столбец табл. 8.5 – фактически первый столбец табл. 8.3 – список критериев, а второй – содержательная критериальная оценка, даваемая системой мониторинга. Из табл. 8.5 видно, что система мониторинга дает содержательные критериальные оценки текущего состояния продукции фирмы на рынке по всем критериям, внесенным в список 2. СППР просит экспертов изменить оценки, с которыми они не согласны. Пусть в результате у одного из экспертов получены оценки, показанные в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Наименование критериев	Содержательная оценка критерия
1. Уровень спроса на продукцию	Сбыт под угрозой
2. Перспективность технологий производства	Устаревшая технология
3. Эффективность оперативных воздействий	Возможно управление посредством оперативных воздействий
4. Оценка продукции по рекламациям и жалобам	Производится качественная продукция
5. Цены сравнительно с ценами конкурентов	Сравнимы с конкурентами
6. Современность данного типа продукции	Современный
7. Своевременность и надежность поставок продукции	Сравнима с конкурентами
8. Удобство эксплуатации по сравнению с аналогичной продукцией конкурентов	Сравнима с конкурентами
9. Появление изделий конкурентов с новыми технологиями функционирования	Появились в продаже

При необходимости СППР может выдать сводную таблицу оценок типа табл. 8.6 с указанием числа экспертов, проставивших данную оценку. Такая таблица дает представление о разбро-

се мнений и оценок. Она может оказаться полезной при принятии решения.

Таблица 8.6

Наименование критериев	Содержательная оценка критерия	Число оценок
1. Уровень спроса на продукцию	Сбыт под угрозой Сбыт сокращается	6 2
2. Перспективность технологий производства	Устаревшая технология	8
3. Эффективность оперативных воздействий	Возможно управление посредством оперативных воздействий	8
4. Оценка продукции по рекламациям и жалобам	Производится качественная продукция	8
5. Цены сравнительно с ценами конкурентов	Сравнимы с конкурентами	8
6. Современность данного типа продукции	Современный	4
7. Своевременность и надежность поставок продукции	Сравнимы с конкурентами	8
8. Удобство эксплуатации по сравнению с аналогичной продукцией конкурентов	Сравнимы с конкурентами	8
9. Появление изделий конкурентов с новыми технологиями функционирования	Появились в продаже	8

В нашем примере содержательные оценки критериев почти едиனுшные. Поэтому нет необходимости согласовывать оценки сложившейся ситуации. Для удобства будем ссылаться на оценки табл. 8.5.

После утверждения содержательных оценок критериев СППР высвечивает таблицу типа 8.7 со списком критериев, по которым возникла угроза фирме, и указанием возможных задач, решение которых может эту угрозу парировать. Высвечивать имеет смысл только те строки табл. 8.5, в которых в содержательной оценке критерия указывается опасность технологического отставания, потери вновь возникающего рынка и т.п. В нашем случае это относится только к критериям 1, 2 и 9. По ним и необходимо принимать решение по выбору одной из стратегий, указанных в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Наименование критерия	Содержательная оценка критерия	Задачи реализации стратегии	№ и наименование возможной новой стратегии, подлежащей реализации	Идентификатор стратегии
1	2	3	4	5
1. Уровень спроса на продукцию	Сбыт под угрозой	Отказ от конкурентной борьбы в этих видах деятельности	4. Отказ от производства продукции данного типа	q_4
2. Перспективность технологий производства	Устаревшая технология	Выпуск продукции более дешевой и/или качественной, чем у конкурентов	6. Изменение технологии производства	q_6
...				
9. Появление изделий конкурентов с новыми технологиями	Появились в продаже	Выпуск более дешевой и/или качественной, чем у конкурентов продукции и услуг	7. Изменение технологий функционирования производимых изделий	q_7

Для анализа влияния внутренних факторов состояния фирмы в СППР создаются таблицы, аналогичные табл. 8.3, позволяющие анализировать эффективность реализуемых стратегий с помощью схемы семантического анализа. В случае необходимости СППР может предложить их модификацию. Из-за громоздкости этих таблиц они в работе не приводятся. Компьютерная поддержка семантической генерации новых стратегий, улучшающих внутреннее положение фирмы, проводится так же, как и при анализе состояния рынка.

Глава 9

МЕТОДЫ СУБЪЕКТИВНОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Для того чтобы проранжировать (упорядочить) набор объектов любой природы (планы, устройства, управленческие решения и т.д.) их надо сравнить. Некоторые объекты можно физически измерить и сравнить их по результатам измерений, например, можно измерить глубины скважин и упорядочить их по глубине ствола, можно измерить объем добываемой в сутки нефти и упорядочить их по этому параметру. Но упорядочить скважины одновременно по двум параметрам (и по глубине, и по объему) непосредственными измерениями нельзя. Для этого придется использовать какие-то специальные приемы сравнения. Некоторые методы такого сравнения по нескольким параметрам рассматриваются в этой главе. Эти методы в литературе называются многокритериальными. Начнем с достаточно простых методов – бинарных сравнений.

9.1. Бинарные сравнения объектов

Индивидуальные сравнения могут описываться указанием бинарных отношений P между объектами из заданного множества A . Эти отношения формально определяют предпочтения руководителей или экспертов.

Возможны следующие типы бинарных отношений:

- ациклическое, P не содержит циклов $x_1Px_2P\dots x_SPx_1$ при любой длине S ;
- строгий частичный порядок – ациклическое и транзитивное ($\forall x, y, z \ xPyPz \Rightarrow xPz$) бинарное отношение;

- слабый порядок – ациклическое, транзитивное и отрицательное транзитивное ($\forall x, y, z \ x\bar{P}y \ \& \ y\bar{P}z \Rightarrow x\bar{P}z$) бинарное отношение;
- линейный порядок – слабый порядок, который удовлетворяет дополнительно условию связанности ($\forall x, y: x \neq y \ xPy$ или yPx).

Возможен другой подход. Он заключается в указании множества $Y \subseteq X$ выбранных вариантов из каждого непустого множества X из A . Так определяется функция выбора $C(\bullet)$ при ограничении $C(x) \subseteq X$ для любого X .

В классической теории выбора использование бинарных отношений основано на парадигме рационального или парнодоминантного выбора – выбирают те варианты, которые «выдерживают сравнение», т.е. предпочтительнее других вариантов в смысле некоторого бинарного отношения P . Формально это записывается следующим образом:

$$C(x) = \{y \in X \mid \neg \exists x \in X : xPy\} .$$

Функция выбора, которая может быть представлена в этой форме, для некоторого P называется порождаемым (или рационализируемым) отношением P .

Иная модель выбора основана на экстремизационной парадигме, согласно которой на A задается функция полезности $U(\bullet)$ и выбор осуществляется максимизацией этой функции:

$$C(x) = \{y \in X \mid \neg \exists x \in X : U(x) > U(y)\} . \quad (9.1)$$

Обобщением этой модели является модель многокритериального выбора. Считается, что вариантам соответствует несколько критериевых оценок \vec{U} и рассматриваются различные правила выбора.

Для реализации функции (9.1) разработано довольно много процедур. Рассмотрим наиболее часто используемые.

А. Процедура Борда

Согласно этой процедуре подсчитывается, по скольким параметрам данное предложение превосходит все другие, результаты суммируются. Лучшей считается предложение, набравшее большую сумму. Эта процедура около двадцати лет применялась при выборах академиков во французской академии наук.

Формально процедуру Борда можно записать следующим образом.

Всем $x \in A$ (A – множество предложений) припишем значения $r_i(x)$, определяемым по правилу:

$$r_i(x) = \{b \in A : P_i(x) < P_i(b) + \varepsilon_i\},$$

где b – предложения, у которых значение i -го параметра $P_i(b)$ лучше значения $P_i(x)$ – i -го параметра предложения x , ε_i – характеристика «чувствительности».

Сумма этих значений образует так называемую шкалу альтернатив Борда:

$$r(x) = \sum_i r_i(x).$$

Поясним правило примером. Пусть требуется выбрать двигатель для некоторого насоса. Характеристики двигателей показаны в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Параметры	Название фирм			
	А	В	С	Д
Мощность двигателя	25	40	20	30
Расход горючего	30	60	30	45
Вес двигателя	50	80	50	65

По правилу Борда для выбора лучшего двигателя надо использовать следующий алгоритм:

- для каждого двигателя подсчитать число параметров, по которым он превосходит остальные двигатели, т.е. определить величину $r(x)$;
- сравнить значения $r(x)$ всех двигателей;
- лучшим считается двигатель, набравший большую сумму.

В нашем примере при допущении $\varepsilon = 0.00$ значения $r_i(x)$ и $r(x)$ показаны в табл. 9.2. По табл. 9.2 лучшим двигателем оказался двигатель фирмы А.

Здесь заметим, что шкала альтернатив Борда может быть задана и по-другому. Наилучшему значению критерия ставится в соответствие наибольший ранг $r_i(x)^{max}$. Например, $r_i(x)^{max} = 5$, следующий ранг – 4, затем – 3 и 2, так как всего имеется четыре объекта (A, B, C, D), каждый из которых может иметь свое собственное значение критерия.

Таблица 9.2

Наименование фирм	Значения r_i			
	r_1 (мощность двигателя)	r_2 (расход горючего)	R_3 (вес двигателя)	$r(x)$
A	1	2	2	5
B	3	0	0	3
C	0	2	2	4
D	2	1	1	4

Тогда, табл. 9.2 примет вид табл. 9.3:

Таблица 9.3

Параметры	Название фирм			
	A	B	C	D
Мощность двигателя	3	5	2	4
Расход горючего	5	2	5	4
Вес двигателя	5	3	5	4

А табл. 9.2 примет вид табл. 9.4:

Таблица 9.4

Наименование фирм	Значения r_i			
	R_1 (мощность двигателя)	R_2 (расход горючего)	R_3 (вес двигателя)	r
A	3	5	5	13
B	5	3	3	11
C	2	5	5	12
D	4	4	4	12

То есть ранжирование при другом задании шкалы Борда дало тот же результат.

В. Турнирная таблица

При ранжировке по этой процедуре надо выбрать тот двигатель, у которого максимально число показателей, превосходящих показатели других двигателей (число «выигрышей»). Для этого построим матрицу S , такую что:

$$\forall x, y \in M, S = \{n(x, y)\}, n(x, x) = -, n(x, y) = \{I|P_l(x) < P_l(y) + \varepsilon_l\}$$

или

$$n(x, y) = \{I|P_l(x) > P_l(y) + \varepsilon_l\}.$$

Строки и столбцы матрицы S соответствуют множеству альтернатив в M . Такую матрицу называют обобщенной турнирной матрицей. Поясним построение матрицы S на примере табл. 9.5 ($\varepsilon_l = 0.00$ для всех $l=1-3$), где l – идентификаторы параметров, P_l – l -ый параметр оценки двигателей, ε_l – параметр «чувствительности» – порог, соответствующий каждой характеристике l .

Таблица 9.5

Наименование фирм	Значение $n(x, y)$				$\omega(x)$
	А	В	С	Д	
А	-	2	1	2	5
В	1	-	1	1	3
С	0	2	-	0	2
Д	1	0	0	0	1

Поскольку $n(x, y)$ показывает число «выигрышей» двигателя x у двигателя y , т.е. число параметров двигателя x , показатели которых лучше показателя тех же параметров двигателя y , функция $\omega(x) = \sum_{y, y \neq x} n(x, y)$ определяет общее число «выигрышей» двигателя x у других двигателей. Таким образом, функция $\omega(x)$ – последний столбец табл. 9.5 определяет «естественный» (для этой функции) порядок на множестве A . Лучшим оказался двигатель фирмы А.

С. Гарантированный результат [9.1]

Оптимальным по правилу гарантированного результата называется такой вариант из множества Парето, который является лучшим из худших по каждой характеристике.

Это известное правило максимина:

$$S = \max_j \min_i V_i \beta_{ij}. \quad (9.2)$$

Порядок оценки вариантов по этому правилу:

1. Сформулировать логическую функцию β_{ij} (например, это критерии оптимальности и левые части ограничений нечеткой оптимизационной задачи), характеризующую варианты решения, где i – номер критерия оптимальности (ограничения), j – номер альтернативы.

2. Определить коэффициенты V_i приоритетов решения, т.е. «вес» приоритетов.

3. СППР находит значение функции (9.2).

Следует отметить, что в том случае, если β_{ij} трактуется как функция принадлежности критериев оптимальности и ограничений нечеткой оптимизации, то выражение (9.2) определяет принцип оптимальности Беллмана-Заде, который позволяет таким образом решать многокритериальные оптимизационные задачи, симметризируя критерии и ограничения, то есть подходить к выбору оптимального решения так, как это делает человек, считая критерии и ограничения просто условиями решения задачи [9.2].

Д. Правило последовательных уступок

Здесь руководитель устанавливает СППР порядок приоритета логических функций, ставя на первое место наиболее важную, и СППР выполняет следующую процедуру:

1. СППР находит $\beta_1^0 = \max_j \beta_{1j}$, где β_{1j} - значение логической

функции по самой важной характеристике, ее индекс $i=1$, j – номер альтернативы.

2. Руководитель определяет величину уступки $\delta\beta_1$:

3. СППР в пределах уступки $\delta\beta_1$ находит

$$\beta_2^0 = \max_j \beta_{2j}.$$

Если таких вариантов нет – руководитель увеличивает уступку и в ее пределах СППР выбирает вариант, имеющий максимум по третьей логической функции и т.д. до полного перебора всех β_i .

Такой способ построения компромиссного решения имеет то преимущество, что руководитель имеет возможность наглядно видеть цену «уступки» по каждому критерию.

Описанная процедура получения компромиссного решения может быть реализована и без назначения уступок $\delta\beta_i$. В этом случае вначале отбирают варианты решений по первому (наиболее важному) критерию, затем среди отобранных решений выбираются наилучшие решения по второму критерию и т.д. Процедура завершается при выборе наилучшего решения по последнему критерию.

Если же методом последовательных уступок решается многокритериальная оптимизационная задача, то к исходным ограничениям задачи на каждом шаге добавляются ограничения вида:

$$\beta_i \geq \beta_i^0 - \delta \beta_i$$

9.2. Процедура голосования

Голосование является одной из важных процедур субъективного сравнения объектов. Каждый голосующий, отстаивая свою точку зрения, голосует за тот объект, вариант решения, кандидатуру и т.д., которые больше соответствуют его предпочтениям или интересам.

Ниже перечисляются наиболее часто используемые процедуры.

Редактирующая процедура. Эта процедура используется в некоторых парламентах. Она заключается в попарном сравнении альтернатив и отбрасывании тех, которые по большинству голосов признаны худшими. Эта процедура продолжается до тех пор, пока не остается последняя пара альтернатив, из нее и выбирают лучшую.

Процедура Копеланда. В этой процедуре также производятся парные сравнения. Тот объект (вариант) из каждой сравниваемой пары, который признан лучшим, получает одно очко. Так каждый объект сравнивается со всеми другими объектами. Объект, набравший наибольшее число очков, считается лучшим.

Процедура единогласия. Лучшей считается та процедура, за которую проголосовали все. Если хотя бы один проголосовал «против», то лучший объект (вариант) – не определен.

Процедура максимум. Лучшей считается объект (вариант), набравший самое большое число голосов (но не обязательно больше половины).

Процедура большинства голосов. Лучшим объектом (вариантом) считается тот, который набрал большинство голосов, но обязательно больше половины.

Во всех перечисленных процедурах каждый участник в процессе голосует только за один объект.

Мягкий рейтинг. Лучшим считается объект (вариант), набравший большее число голосов при условии, что каждый участник голосования может голосовать за любое число объектов (вариантов).

Процедура Кондорсе. Лучшим считается объект (вариант), который больше половины голосующих при попарном сравнении считает лучше любого другого.

Консенсус. Лучшим считается объект (вариант), с которым в лучшем случае все согласны, в худшем – против которого нет возражений.

9.3. Сравнение по Парето

Определение Парето-оптимальности. В 1896г. В. Парето предложил в экономике концепцию, получившую название принципа Парето-оптимальности. Этот принцип применительно утверждает, что, если для ситуации B существует такая ситуация A , что выигрыш каждого из участников при реализации ситуации A не меньше, чем при реализации ситуации B , и, по крайней мере, один участник получит выигрыш строго больший, то они предпочтут ситуацию A ситуации B [9.3].

Состояние A (множество параметров) называется Парето-оптимальным, если не существует другого состояния B (множества других параметров), доминирующего состояние A . Состояние A доминирует состояние B , если хотя бы по одному параметру A лучше B , а по остальным не хуже.

Будем говорить, что:

- элемент i превосходит по Парето элемент j , если оценка элемента i превосходит оценку элемента j , хотя бы по одному показателю, а по всем остальным показателям не хуже нее;
- элемент i эквивалентен по Парето элементу j , если соответствующие показатели этих элементов равны;
- элемент i несравним по Парето элементу j , если оценки элемента i превосходят оценки элемента j по одним показателям и уступают по другим;
- элемент i уступает по Парето элементу j , если элемент j превосходит его по Парето.

Рассмотрим отношение \geq ($>$) между оценками $x, y \in X$: $x \geq y$ ($x > y$), если $U_i(x) \geq U_i(y)$ ($U_i(x) > U_i(y)$) для $i = \overline{1, n}$. Здесь $U_i(x)$ – функция полезности (предпочтения). Оценка $x^0 \in X$ назы-

вается максимальной по \geq (по $>$) относительно X , если не существует оценки $x \in X$ такой, что $x \geq x^0$ ($x > x^0$). Оценка максимальная по \geq называется эффективной, а также Парето-оптимальной. То есть, вектор $\tilde{x} \in X$ Парето-оптимален тогда и только тогда, если не существует другого $\tilde{x} \in X$ такого, что $U_i(\tilde{x}) \geq U_i(\tilde{x}^*)$ для $i = \overline{1, n}$ и строгое неравенство $U_j(\tilde{x}) > U_j(\tilde{x}^*)$ выполняется, хотя бы для одного j . Множество всех Парето-оптимальных решений образуют рубеж Парето или, что тоже рубеж эффективности. Эти два термина используются в литературе как синонимы.

Оценка максимальная по $>$ называется слабо эффективной, а также слабо оптимальной по Парето или оптимальной по Слейтеру. Множество всех таких оценок на X называется слабо эффективным.

Важно отметить, что Парето-оптимальность – это общее понятие равновесия, которое полностью зависит от того, какие элементы в него включаются.

Применение скалярного критерия и методов свертки позволяет линейно упорядочивать сравниваемые объекты, т.е. выстроить их по старшинству оценок. Сравнение по Парето при многокритериальных оценках позволяет упорядочивать объекты не линейно, а по группам, считая, что все элементы внутри группы равноценны, т.е. перейти от линейного упорядочивания к групповому. При этом превосходство устанавливается не между отдельными объектами, а между их равноценными группами. Такой подход не дает никаких преимуществ, если упорядочивание производится по одному показателю, но открывает новые возможности, если таких показателей несколько.

При сравнении объектов по многим критериям возможны следующие случаи: все элементы эквивалентны, т.е. имеют одинаковый ранг. Этот случай показан на рис. 9.1-а. Все элементы сравнимы, и можно определить предпочтительность одного по сравнению с другим, т.е. они все имеют различные ранги, как показано на рис. 9.1-б. Наконец, может быть рассмотрен промежуточный, наиболее часто встречающийся случай, когда часть элементов сравнимы, часть эквивалентны, а часть несравнимы, т.е. они имеют как одинаковые, так и различные ранги. Этот случай показан на рис. 9.1-с.

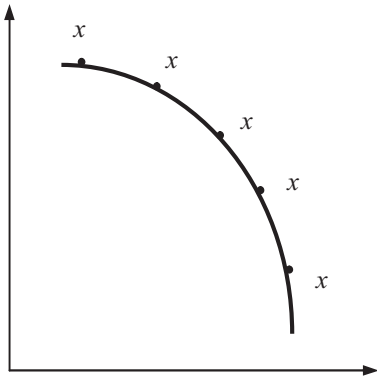


Рис. 9.1-а

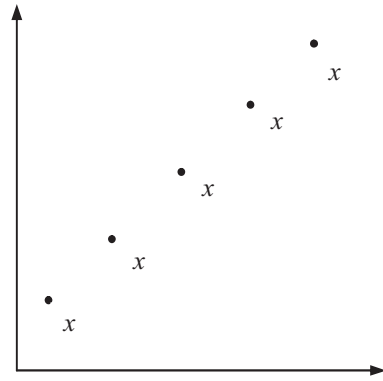


Рис. 9.1-б

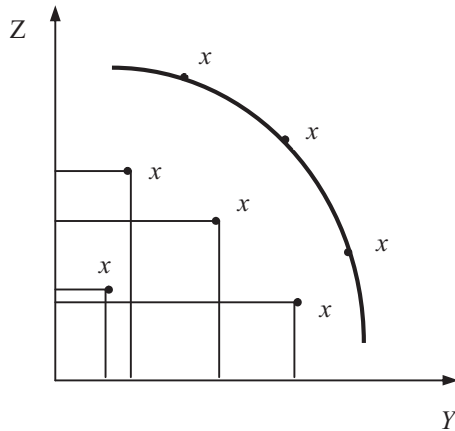


Рис. 9.1-с

Важным свойством метода Парето является возможность «выбраковать» из множества возможных решений X заведомо неудачные, уступающие другим по всем критериям. Проиллюстрируем прием выделения паретовских решений на примере задачи с двумя критериями Y и Z (оба требуется максимизировать).

Множество возможных решений X состоит из конечного числа n возможных решений x_1, x_2, \dots, x_n . Каждому решению соответствуют определенные значения показателей Y и Z . Будем изображать решения точкой на плоскости с координатами Y и Z и занумеруем точки соответственно номеру решения (см. рис. 9.1-с).

На рис. 9.1-с точками показаны положения семи элементов на плоскости. Среди них особое положение занимают элементы x_3, x_6, x_7 . Элемент x_3 лучше всех по параметру Z , элемент x_7 – по параметру Y , а элемент x_6 лучше каждого из перечисленных элементов по одному параметру и хуже по другому. Очевидно, из всего множества X эффективными будут только решения x_3, x_6, x_7 , лежащие на правой верхней границе области возможных решений, которые и образуют рубеж эффективности. Для всякого другого решения существует хотя бы одно доминирующее, для которого либо Y , либо Z , либо оба больше, чем для данного. И только для решений, лежащих на рубеже эффективности, доминирующего не существует. То есть, среди семи элементов только для этих трех не существует элементов, превосходящих их по значениям всех параметров одновременно. Присвоим этой группе элементов ранг 1. Из оставшихся четырех элементов такими свойствами обладают элементы x_1, x_2, x_4 . Этой группе присвоим ранг 2 и, наконец, элементу x_5 присвоим ранг 3. Таким образом, все элементы разбиты на группы и эти группы проранжированы.

Из определения Парето-оптимальности следует простой переборный алгоритм нахождения множества Парето-оптимальных элементов. Поскольку Парето-оптимальность определяется не абсолютными, а относительными значениями оценок объектов (вариантов решений) по значениям их параметров, то для реализации алгоритма достаточно иметь информацию о типе отношений между каждой парой объектов, т.е. знать существует ли между ними отношение строгого предпочтения или нет. Поэтому введем булеву переменную

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если объект } i \text{ строго предпочтительнее объекта } j; \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

и построим квадратную матрицу, элементами которой являются переменные a_{ij} . Из определения следует, что единицы в i -ой строке определяют элементы j , по отношению к которым элемент i строго предпочтительнее. Поэтому, если в j -м столбце все нули, то значит

нет элемента, который бы был строго предпочтительнее элемента j , и он принадлежит множеству Парето-оптимальности.

При построении матрицы возможны три следующих случая:

- одно или несколько значений параметров элемента i лучше (это может быть либо больше, либо меньше) значений параметров элемента j , а остальные равны. В этом случае $a_{ij} = 1$;
- одно или несколько значений параметров элемента i хуже значений параметров элемента j . Тогда независимо от значений других параметров $a_{ij} = 0$;
- значение всех параметров элемента i равно значениям соответствующих параметров элемента j . При таком равенстве $a_{ij} = 0$.

Рассмотрим простой пример оценки различных по Парето методов воздействия на нефтяные пласты.

В табл. 9.6 представлены экономическая и технологическая эффективности различных рассмотренных в [9.4] методов воздействия на пласт с целью повышения его нефтеотдачи.

Таблица 9.6

№	Метод воздействия	Себестоимость 1 м^3 доп. добыч. нефти, долл. США	Удельн. Кап. Затраты, тыс. долл. США На ($\text{м}^3/\text{сут.}$)	Прирост нефтеотдачи %	Конечная нефтеотдача %
1	Горение	63 - 157	50 - 157	10 - 30	45 - 50
2	Пар	63 - 119	50 - 157	15 - 35	45 - 50
3	Нагнетание CO_2	63 - 189	63 - 157	8 - 20	55 - 60
4	Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	126 - 314	94 - 189	12 - 30	45 - 50
5	Полимеры	63 - 157	63 - 189	2 - 10	45 - 50

Здесь неопределенность выражается разницей в максимальном и минимальном эффекте в зависимости от применяемого метода воздействия.

Будем сравнивать методы воздействия на пласт по четырем показателям, показанным в табл. 9.6. При нахождении величины a_{ij} по-

казатели можно сравнивать по средним значениям или по положению интервала значений на числовой оси, считая, например, что показатель "себестоимость 1 м³" в интервале 63-119, лучше этого же показателя в интервале 63-157. Для сравнения методов воздействия СППР строит табл. 9.7, не показывая ее руководителям.

Таблица 9.7

№	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	1
2	1	0	0	1	1
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

В соответствии с табл. 9.7 лучшими методами (1 ранга) оказались "пар" и "нагнетание CO₂". Вычеркивая столбцы и строки №№2 и 3, получаем табл. 9.8.

Таблица 9.8

№	1	4	5
1	0	0	1
4	0	0	0
5	0	0	0

В соответствии с табл. 9.8 методами второго ранга оказались «горение» и «поверхностно-активные вещества». Наконец, самым худшим методом (3 ранга) оказались «полимеры».

В результате ранжирования по Парето система высвечивает на дисплее табл. 9.9.

Таблица 9.9

Ранг	Метод воздействия на пласт
1	Пар
1	Нагнетание CO ₂
2	Горение
2	Поверхностно-активные вещества
3	Полимеры

Исходя из этих оценок, руководитель выбирает метод воздействия на пласт.

9.4. Нахождение Нэш-равновесных условий

А. Определение Нэш-равновесия и его связь с Парето-оптимальностью

В 1949г. в докторской диссертации Нэша [9.5] была разработана модель показывающая, что можно получить, хотя бы абстрактно, результат близкий к равновесию договаривающихся сторон. Таким результатом является достижение условий, в определенной степени удовлетворяющих все договаривающиеся стороны и таких, что их нарушение одним из участников приведет только к его проигрышу. Эти условия называются равновесием или точкой Нэша. То есть можно сказать, что ситуация является равновесной по Нэшу, если она устойчива относительно индивидуальных отклонений участников переговоров в процессе принятия групповых решений.

Для формального определения устойчивости [9.6] введем понятие максимальности по P . Объект $a^0 \in A$ называется максимальным по P относительно B , если в B не существует объекта a строго более предпочтительного, чем a^0 , т.е. если aPa^0 не имеет место ни при каком $a \in B$. Если объект a^0 принадлежит B , то его называют максимальным по P в B .

Обозначим множество максимальных по P объектов из B через $\max_P B$. Это множество внутренне устойчиво в том смысле, что если $a, b \in \max_P B$, то не может быть ни aPb , ни bPa . Это множество называется внешне устойчивым [9.7], если для всякого объекта $a \in B$, который не является максимальным, найдется более предпочтительный максимальный объект, т.е. для некоторого $a^0 \in \max_P B$ будет выполняться отношение a^0Pa . Можно сказать, что в прикладном смысле внешней устойчивостью является то, что является следствием достаточно высоких доходов от кооперации [9.8].

Рассмотренная выше оптимальность по Парето показывает, что, находя Парето-оптимальную точку, все участники получают не меньший доход (достигают не худшего результата), чем при выборе этой точки другим методом, а, возможно, и лучший. Однако это верно только при согласованных усилиях всех участников.

Из принадлежности значений параметров множеству Парето не следует, что эти значения максимально выгодны каждому участнику

переговоров. Некоторые из них, сепаратно изменив значения своих параметров, могут увеличить свой выигрыш (получить лучший результат). Действия других участников в ответ на такое поведение, может вывести значения параметров из множества Парето. То есть индивидуальные интересы партнеров могут вступить в противоречие с коллективным интересом его участников.

Неустойчивость оптимальной по Парето ситуации вызывает естественное стремление найти устойчивые решения. Самым популярным принципом рационального поведения в теории некооперативных игр считается ситуация равновесия Нэша [9.3].

Для более строгого определения равновесия по Нэшу введем некоторые понятия из теории игр, обычно используемых в литературе. Соответственно вместо слов «участники» будем использовать термин «игроки». Сначала определим используемые ниже термины, характеризующие поведение участников.

Стратегия, состоящая в выборе одного из множества действий $x_i \in X$ (где x_i – элемент из возможного множества действий или выбора значений) называется чистой стратегией.

Ситуация $x^* = (x^*_1, \dots, x^*_n)$ называется ситуацией равновесия по Нэшу (в чистых стратегиях), если для всех $x_i \in X_i$, $i = \overline{1, n}$ справедливо неравенство $K_i(x^*_i, x^*_{-i}) \geq K_i(x_i, x^*_{-i})$, где K_i – функция выигрыша i -го игрока. Здесь «- i » – любой не i -ый игрок.

Игроки могут не выбирать в каждой ситуации некоторое единственное решение, а выбирать одно из действий с некоторой вероятностью. Тогда выбор игрока будет описываться вероятностным распределением на множестве возможных в данной ситуации действий, которое называется смешанной стратегией.

Набор смешанных стратегий $\alpha^* = (\alpha^*_1, \dots, \alpha^*_n)$ называется ситуацией равновесия Нэша в смешанных стратегиях, если для произвольной смешанной стратегии α_i любого i -го справедливо неравенство:

$$\tilde{K}_i(\alpha^*_i, \alpha^*_{-i}) \geq \tilde{K}_i(\alpha_i, \alpha^*_{-i}),$$

где $\tilde{K}_i(\bullet)$ – результат усреднения функций выигрыша игроков по используемым ими смешанным стратегиям.

Необходимо отметить, что множество равновесий Нэша в чистых стратегиях в некоторых ситуациях может оказаться пустым, что является, конечно, большим недостатком этого метода. В то же время доказана теорема Нэша [9.8], утверждающая, что для произвольной дискретной игры существует, по крайней мере, одно равновесие Нэша в смешанных стратегиях.

По возможности совместных действий среди игр многих лиц различают кооперативные и некооперативные игры.

Отличительной чертой кооперативных игр является то, что при их исследовании решающее значение имеет возможность игроков вести совместные действия, объединяясь для этой цели в коалиции.

Некооперативные игры – это класс моделей теории игр, в постановке которых предполагается, что игроки не могут действовать совместно. Это значит, что запрещены договоры между игроками, передача игрокам друг другу ресурсов, информации и т.д.

Введем понятие коалиции. Обозначим множество участников переговоров через $N = \{1, \dots, n\}$. Любое непустое подмножество S данного множества назовем коалицией. Обозначим через (x^*_{-S}, x_S) ситуацию, в которой игроки, не входящие в коалицию $S \in N$, используют стратегии $x^*_i (i \in N/S)$, а игроки из S используют стратегии $x_j (j \in S)$.

Если ситуация x^* – равновесие Нэша, то никому из игроков не выгодно отклоняться от нее. Однако возможно, что объединившиеся игроки могут улучшить свое положение выходом из равновесия Нэша.

Ситуация x^* называется сильно равновесной по Нэшу, если для любых коалиций $S \in N$ и любых $x_S \in \prod_{i \in N} x_i$ найдется участник коалиции $i \in S$ такой, что $K_i(x^*) > K_i(x^*_{-S}, x_S)$, где $K_i(\bullet)$ – функция выигрыша i -го участника переговоров.

Как видно из определения сильное равновесие отличается от равновесия Нэша тем, что игроки не только по одиночке не могут увеличить свой выигрыш выходом из равновесия, но и произвольная их коалиция не может, отклоняясь от равновесия, увеличить этим одновременно выигрыш всех своих участников.

Можно показать, что сильные равновесия Нэша, если они существуют, оптимальны по Парето, но они существуют далеко не всегда [9.5].

В теории игр различают повторяющиеся игры (repeated games) и однопериодные игры (one-shot games). Применительно к компьютерной поддержке принятия групповых решений это значит, что согласованное решение принимается (или не принимается) в один или несколько раундов переговоров. В перерывах между ними может осуществляться компьютерный анализ сложившейся ситуации.

Основная идея повторяющихся игр заключается в том, что при многократном повторении однопериодной игры удастся добиться того, что выбор участниками переговоров индивидуальных рациональных стратегий приводит к реализации рационального для всех договаривающихся сторон согласованного решения. В однопериодной игре это не всегда так: в общем случае, если используется некооперативная концепция равновесия Нэша, то в однопериодной игре точка Нэша может оказаться неэффективной по Парето с точки зрения всех участников переговоров. В то же время может существовать оптимальное по Парето согласованное решение, которое не является равновесным по Нэшу.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий это положение [9.9]. Пусть имеются $n \geq 3$ участников переговоров, функции предпочтения которых имеют вид:

$$\varphi_i(y) = y_i + \sum_{j \neq i} (1 - y_j), \quad y_i \in [0, 1], \quad i = \overline{1, n}.$$

Точка Нэша (пока не будем рассматривать алгоритм ее определения) $y_i^H \equiv 1, \quad i = \overline{1, n}$, при этом $\varphi_i(y^H) = 1, \quad i = \overline{1, n}$. Парето-оптимальная точка $y_i^\Pi \leq 0, \quad i = \overline{1, n}$ обеспечивает участникам переговоров выигрыш $\varphi_i(y^\Pi) = n - 1 > \varphi_i(y^H)$, то есть y^Π строго доминирует по Парето равновесие Нэша y^H . Но y^Π неустойчиво – любой из игроков, отклоняясь, то есть выбирая $y_i \neq y_i^\Pi$, получает выигрыш, например, $\varphi_i(y_i^H, y_{-i}^\Pi) = n > \varphi_i(y^\Pi)$, где $y_{-i} = (y_1, y_2, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots$

..., y_n). Остальные участники переговоров могут последовать его примеру.

Игры двух лиц являются хотя и наиболее простой, но и лучше всего исследованной моделью. Для них получено наибольшее число результатов, поэтому в заключение этого раздела дадим их формальное определение.

Нэш [9.5] ввел в проблему соглашения согласованного группового решения установление следующих свойств:

- симметрии (СИМ): для всех $S \in \Gamma$, если $[(x_1, x_2) \in S \Rightarrow (x_2, x_1) \in S]$, тогда $F_1^S = F_2^S$;
- слабой Парето-оптимальности (СПО): для всех $S \in \Gamma$, $F^S = P^S$;
- независимости от эквивалентного представления полезности (НЭП): для всех $S, T \in \Gamma$, если $T = \{(c_1 x_1, c_2 x_2) | (x_1, x_2) \in S\}$, где $c_1, c_2 \in R_{++}$, тогда $(F_1^T, F_2^T) = (c_1 F_1^S, c_2 F_2^S)$;
- независимости от неподходящих (не относящихся к делу) альтернатив (ННА), для всех $S, T \in \Gamma$, если $S \subseteq T$ и $F^T \in S$, тогда $F^S = F^T$.

Решение Нэша является единственным решением, удовлетворяющим СИМ, СПО, НЭП и ННА для всех $S \in \Gamma$. Здесь еще раз показана связь между слабой Парето-оптимальностью и равновесием Нэша.

Рассмотрим несколько иллюстративных примеров.

В. Простые иллюстративные примеры нахождения начальных Нэш-равновесных условий

Начнем с решения в чистых стратегиях [9.3, 9.9]. Две фирмы с однородной продукцией ведут борьбу за рынок. Общий объем продаж x зависит от количества товара x_i , поставленного каждой i -ой фирмой на рынок. Он определяется соотношением $x = x_1 + x_2$, а доход — $D_i = x_i(120 - x_1 - x_2)$. С какого стартового значения поставок товаров каждой фирмой должны начаться переговоры по разделу рынка?

В терминах теории игр это однократная, некооперативная игра двух лиц с полной информированностью. Решение естественно искать в чистых стратегиях. Целевую функцию i -ой фирмы запишем в виде: $K_i = x_i(120 - x_1 - x_2)$. Наилучшее решение фирмы при фиксированном поведении другой вычисляется в результате нахождения максимума целевой функции по возможным решениям этой фирмы, то есть $x^*_i = \arg \max_{x_i} K_i(x_i, x_{-i})$ при ограничениях $x_1 + x_2 = const$.

Поэтому для нахождения точки Нэша построим систему уравнений и найдем x^*_1 и x^*_2 , отвечающие максимуму целевой функции. Это и будет точка Нэша, т.к. отклоняться от полученных максимальных значений ни одному участнику невыгодно: больше он получить не может.

Для построения уравнений приравниваем частные произведения целевой функции нулю:

$$\frac{\partial K_i(x_i, x_{-i})}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2.$$

После дифференцирования получаем систему уравнений

$$x_1 = 60 - \frac{x_2}{2}; \quad x_2 = 60 - \frac{x_1}{2},$$

решением которой является $x_1 = x_2 = 40$, приводящие к выигрышу $K_1 = K_2 = 1600$. Таким образом, Нэш-равновесие при разделе рынка может быть 40 единиц товара для каждой фирмы.

В случае безусловного сотрудничества участников, т.е. при объединении их выигрышей и выбора решения из условия максимизации нового критерия $K = K_1(x_1, x_2) + K_2(x_1, x_2)$, точкой Нэша была бы $x_1 = x_2 = 30$, при этом суммарный доход был бы равен $K=3600$ и при распределении его поровну каждый получил бы $K_1 = K_2 = 1800$.

Конечно, в ходе принятия групповых решений по любому из вариантов могут выясниться новые обстоятельства, которые потребуют изменения стартовых значений.

Теперь рассмотрим пример смешанных стратегий [9.9]. Муж и жена решают куда им пойти – на футбольный матч или в театр. Если они не договариваются, то остаются дома. Конечно, в жизни такая задача математически не решается, но все же посмотрим можно ли

сформулировать условия таких групповых решений. Зададим выигрыш каждой стороны в виде биматрицы. Запишем ее так, что первое число будет соответствовать выигрышу мужа, второе – жены. Пусть матрица выигрышей имеет вид:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 4,1 & 0,0 \\ 0,0 & 1,4 \end{pmatrix},$$

где x_1 – оценка похода на футбол мужем, x_2 – оценка похода на футбол женой, y_1 – оценка посещения театра мужем, y_2 – оценка посещения театра женой. Строки соответствуют выбору мужа, столбцы – жены.

Паре чисел в каждой из четырех ячеек биматрицы соответствует выигрыш мужа и жены при походе на футбол или в театр. Если они идут на футбол, то муж получает 4 единицы выигрыша, а жена – одну. Если они идут в театр, то наоборот – жена получает 4 единицы выигрыша, а муж одну. Из этих оценок видно, что муж хочет идти на футбол и не очень хочет идти в театр, а жена наоборот очень хочет идти в театр и не очень на футбол.

Смешанная стратегия мужа определяется числом p – вероятностью похода на футбол (выбор первой стратегии), смешанная стратегия жены определяется числом q – вероятностью похода в театр (выбор второй стратегии). Находим:

$$K_1(x_1, qx_2 + (1-q)y_2) = 4q, \text{ здесь: } x_1 = 0, x_2 = 4, y_2 = 0;$$

$$K_2(y_1, qx_2 + (1-q)y_2) = 1 - q \text{ здесь } y_1 = 0, x_2 = 0, y_2 = 1.$$

Получаем значение q : $1 - q = 4q, q = 0.2$.

Таким образом, при $q < 0.2$ наилучшим решением мужа является решение y_1 – идти в театр, при $q > 0.2$ – решение x_1 – поход на футбол. При $q = 0.2$ оба решения с точки зрения ожидаемого выигрыша равнозначны. То есть лучшее решение для мужа:

$$p^*(q) = \begin{cases} 0, & \text{если } q < 0.2, \\ 1, & \text{если } q > 0.2, \\ [0,1], & \text{если } q = 0.2. \end{cases}$$

Аналогично лучшим решением для жены:

$$q^*(p) = \begin{cases} 0, & \text{если } p < 0.8, \\ 1, & \text{если } p > 0.8, \\ [0,1], & \text{если } p = 0.8. \end{cases}$$

9.5. Алгоритмы субъективного упорядочивания при формировании управленческих решений

В процессе принятия решений руководитель и эксперты анализируют и формируют варианты решений, определяют критерии принятия решений, имеющих, как правило, различную размерность, их веса и т.д., производя при этом, в конечном итоге – оценки. Эти оценки могут носить как количественный, так и качественный характер и быть объективными или субъективными, сопровождаясь неопределенностями различной рассмотренной выше природы.

Объективные количественные и качественные оценки производятся измерительными приборами, действие которых основано на использовании физических законов. Теория объективных оценок разработана достаточно хорошо и не является предметом изучения данной работы.

Субъективные оценки производятся человеком (экспертом, руководителем), который выполняет роль измерительного прибора. Результаты оценок зависят здесь от степени компетентности эксперта, его интуиции и психологии мышления.

Оценку, измерение (как объективное, так и субъективное) можно определить как процедуру сравнения объектов по определенным показателям (признакам, характеристикам и др.). Объектами могут быть предметы, явления, события, решения и т.д. В это определение включаются три понятия: объекты, показатели и процедуры сравнения. Процедура сравнения включает определение отношений между объектами и способ их сравнения. Введение показателей сравнения позволяет установить отношения между объектами, например: «больше», «меньше», «равны», «хуже», «предпочтительнее» и т.д.

А. Шкалы измерений [9.10]

Шкалой называется совокупность эмпирической системы M , числовой системы N и отображения (возможно, функции) f . Тип шкалы

определяется свойствами допустимого преобразования, которое порождает следующие, наиболее употребительные в практике измерений типы шкал: *наименований; порядковая; интервалов; отношений; разностей; абсолютная.*

Шкала наименований используется для описания принадлежности объектов к определенным классам. Объекты одного и того же класса имеют одинаковые (и/или близкие) значения показателей. В связи с этим, шкала наименований часто называется шкалой классификации. Такая шкала сохраняет отношения эквивалентности и различия между объектами и используется, например, для индексации номенклатуры изделий (спецификация изделий), документов и видов информации в АСУ, нумерации подразделений в организации и т.д. Эта шкала единственна с точностью до взаимнооднозначного преобразования. Это означает, что в данной шкале отсутствуют понятия масштаба и начала отсчета.

Порядковая шкала применяется для измерения упорядочения объектов по одному или совокупности признаков (например, шкала твердости минералов). Эта шкала широко используется при экспертном оценивании для упорядочения объектов. Для порядковой шкалы допустимое преобразование φ является любым монотонным преобразованием. Числа в шкале определяют порядок следования объектов и не дают возможность сказать, на сколько или во сколько раз один объект предпочтительнее другого. В этой шкале также отсутствуют понятия масштаба и начала отсчета.

Шкала интервалов применяется для отображения величины различия между свойствами объектов. Примером такой шкалы является шкала измерения температуры в градусах Фаренгейта или Цельсия. При экспертном оценивании шкала интервалов применяется для оценки полезности объектов. Основным свойством шкалы интервалов является равенство интервалов; она может иметь произвольные точки отсчета и масштаб. Допустимым преобразованием для шкалы интервалов является линейное преобразование $\varphi(x)=ax+b$.

Шкала отношений используется, например, для измерения длины, массы, веса. В этой шкале числа отражают отношения свойств объектов, то есть во сколько раз свойство одного объекта превосходит это же свойство другого объекта. Допустимым преобразованием шкалы отношений является также линейное преобразование:

$\varphi(x)=ax$. Следовательно, шкала отношений является частным случаем шкалы интервалов при выборе нулевой точки отсчета: $b=0$.

Шкала разностей используется для измерения свойств объектов при необходимости выражения, на сколько один объект превосходит другой по одному или нескольким критериям (признакам). Эта шкала является частным случаем шкалы интервалов при выборе единичного масштаба. Допустимым преобразованием для шкалы разностей есть преобразование сдвига: $\varphi(x)=ax+b$.

Абсолютная шкала является частным случаем шкалы интервалов. В этой шкале принимается нулевая точка отсчета и единичный масштаб. Допустимым преобразованием для абсолютной шкалы является линейное преобразование, то есть $\varphi(x)=ax$. Это означает, что существует одно и только одно отображение объектов в числовую систему. Отсюда и следует название шкалы, так как для нее единственность отображения понимается в буквальном, абсолютном смысле. Абсолютная шкала применяется, например, для измерения количества объектов (предметов, событий, решений и т.п.). Количество объектов измеряется с помощью натуральных чисел $1,2,3,\dots,n$.

Шкалы наименований и порядка являются качественными шкалами. В шкале наименований описывается различие или эквивалентность объектов, а в шкале порядка – качественное превосходство, отличие объектов. В этих шкалах нет понятия начала отсчета и масштаба измерения.

Шкалы интервалов, отношений, разностей и абсолютная шкала являются количественными шкалами. В этих шкалах существуют понятия начала отсчета и масштаба, которые выбираются произвольно (с учетом смысла решаемой задачи). Количественные шкалы позволяют измерить, на сколько (шкалы интервалов и разностей) или во сколько (шкалы отношений и абсолютная) раз один объект отличается от другого по выбранному показателю.

Выбор той или иной шкалы для измерения определяется смыслом решаемой задачи, характером отношений между объектами эмпирической системы и наличием информации об этих отношениях. Например, если задачей решения является упорядочение объектов, то часто нет необходимости измерять количественные характеристики объектов. Достаточно определить только качественные характеристики. Типичным примером такого решения в первом приближении

может быть анализ итогов производственно-хозяйственной деятельности предприятия с целью его позиционирования на рынке и определения направления деятельности, так как для решения этой задачи обычно не требуется определять на сколько или во сколько раз одно предприятие (объект) лучше другого.

В. Алгоритмы субъективного сравнения [9.10 - 9.12]

Для осуществления субъективного сравнения применяются различные методы, к наиболее употребительным из которых относятся: ранжирование; парное сравнение; множественные сравнения; непосредственная оценка; последовательное сравнение (метод Черчмена - Акоффа); метод фон Неймана-Моргенштерна.

При описании каждого из перечисленных методов будем предполагать, что имеется конечное число сравниваемых объектов и сформулирован один или несколько признаков сравнения, по которым осуществляется сравнение объектов. Поэтому методы будут различаться лишь процедурой сравнения объектов. Эта процедура включает построение отношений между объектами эмпирической системы, выбор отображающей функции и определение типа шкалы измерений.

Ранжирование представляет собой процедуру упорядочивания объектов, выполняемую руководителем или экспертом, которые на основе знаний, опыта, интуиции и т.д. располагают объекты в порядке предпочтения, руководствуясь одним или несколькими выбранными показателями сравнения. В зависимости от вида отношений между объектами возможны различные варианты упорядочения объектов. Они могут быть следующими.

Среди объектов нет одинаковых по сравниваемым показателям, то есть, нет эквивалентных объектов. В этом случае между объектами существует только отношение строгого порядка и имеет место упорядоченная последовательность объектов,

$$x_1 > x_2 > \dots > x_n$$

где объект с первым номером является наиболее предпочтительным из всех объектов, объект со вторым номером менее предпочтителен первому объекту, но предпочтительнее все остальных объектов и т.д.

Этой упорядоченной последовательности объектов соответствует упорядоченная последовательность чисел, в которой наиболее

предпочтительному объекту присваивается наименьшее число и по мере убывания предпочтения в последовательности $x_1 > x_2 > \dots > x_n$ объектам приписываются большие числа c_i .

Место объекта в упорядоченной последовательности часто называют его рангом. Кроме отношений строгого порядка, между объектами вводится отношение эквивалентности. Упорядочение объектов в этом случае может иметь, например следующий вид:

$$x_1 > x_2 > x_3 \approx x_4 \approx x_5 > x_6 \dots x_{m-1}, \approx x_m$$

В этом упорядочении эквивалентны между собой объекты x_3, x_4, x_5 и x_{m-1}, x_m . То есть данное упорядочение образует нестрогий порядок. Ранжирование при условии наличия эквивалентных объектов представляет собой измерение в порядковой шкале.

В практике ранжирования для эквивалентных объектов в некоторых случаях удобно, с точки зрения технологии обработки экспертных оценок, назначить одинаковые ранги, равные среднему арифметическому значению рангов, присваиваемых одинаковым объектам. Такие ранги называют *связанными рангами*.

Достоинством ранжирования как метода субъективного измерения является простота осуществления процедур, не требующая какого-либо трудоемкого обучения экспертов. Недостатком ранжирования является практическая невозможность упорядочения большого числа объектов. Как показывает опыт, при числе объектов, больше 15 – 20, эксперты затрудняются в построении ранжировки.

Парное сравнение представляет собой процедуру установления предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар. В отличие от ранжирования, в котором осуществляется упорядочение всех объектов, парное сравнение объектов представляет собой более простую задачу. Некоторые наиболее популярные методы парных (бинарных) сравнений уже были рассмотрены в разд. 9.1. Парное сравнение, так же как и ранжирование, есть измерение в порядковой шкале.

В практике парного сравнения (с учетом введенных выше обозначений) в результате сравнения пары объектов x_i, x_j часто используются следующие числовые представления (хотя, конечно, возможны и другие):

$$1. C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i \geq x_j; \\ 0 & \text{- в противном случае.} \end{cases}$$

$$2. C_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{если } x_i > x_j; \\ 1, & \text{если } x_i \approx x_j; \\ 0, & \text{если } x_i < x_j. \end{cases}$$

$$3. C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i > x_j; \\ 0, & \text{если } x_i \approx x_j; \\ -1, & \text{если } x_i < x_j. \end{cases}$$

В результате попарного сравнения объектов экспертами формируется таблица парных сравнений (суждений). Пример такой таблицы представлен табл.9.10, которая заполнена по 1-му представлению C_{ij} .

Таблица 9.10

$I \backslash j$	1	2	...	n
1	1	0	....	1
2	1	1	....	1
...	....	....	1	....
N	1	0	....	1

4. C_{ij} – в методе анализа иерархий (см. раздел 9.6) для парных сравнений предлагается использовать 9-балльную шкалу, которая считается наиболее эффективно и исходя из которой, составляется матрица приоритетов (суждений), хотя при необходимости, могут быть использованы и лингвистические переменные. Эта 9-балльная шкала представления C_{ij} выглядит следующим образом:

1 – одинаковая значимость (два сравниваемых фактора (объекта) вносят одинаковый вклад в конечный результат);

3 – слабое преобладание (легкое предпочтение отдается 1 объекту);

5 – существенное преобладание;

7 – очевидное преобладание;

9 – абсолютное преобладание;

2, 4, 6, 8 – промежуточные значения преобладания (например, 2 – слабо существенное преобладание).

Сложность составления матрицы парных сравнений состоит в том, что оценки руководителя или эксперта могут оказаться несогласованными (это есть один из недостатков метода). Например, сравнивая три объекта C_1, C_2, C_3 , могут быть даны следующие противоречивые оценки: $C_1 = 5C_2, C_1 = 6C_3, C_2 = 4C_3$, т.е. $C_1 = 20C_3$ и $C_1 = 6C_3$.

Если сравнение пар объектов производится отдельно по различным показателям (критериям) или сравнение осуществляет группа экспертов, то по каждому показателю или эксперту составляется своя таблица результатов парных сравнений, которые образуют пакет таблиц.

Сравнение во всех возможных парах не дает полного упорядочения объектов. Поэтому возникает задача ранжировки объектов по результатам их парного сравнения.

Множественные сравнения отличаются от парных тем, что экспертам последовательно предъявляются не пары, а тройки, четверки, ..., n -ки ($n < N$) объектов. Эксперт их упорядочивает по важности или разбивает на классы в зависимости от целей экспертизы. Множественные сравнения занимают промежуточное положение между парными сравнениями и ранжированием.

Непосредственная оценка представляет собой процедуру приписывания объектам числовых значений в шкале интервалов. Руководителю или эксперту необходимо поставить в соответствие каждому объекту точку на определенном отрезке числовой оси. Компетентность эксперта должна быть таковой, чтобы он мог непосредственно оценить значение характеристик объекта. Естественно потребовать, чтобы эквивалентным объектам приписывались одинаковые c_i .

Измерения в шкале интервалов могут быть осуществлены с достаточной точностью при полной информированности руководителя (экспертов) о свойствах объектов. Кроме того, оценка объектов по многим показателям (критериям), имеющим различную размерность, в том числе полученным и измерительными приборами. Поэтому в этих условиях для измерения применяют балльную шкалу, которая позволяет одновременно использовать как показатели (критерии) различной размерности, так и результаты субъективных и объектив-

ных измерений. Интервальную шкалу измерений в баллах часто называют базовой шкалой.

Формирование базовых шкал рассмотрим на примере значений показателя объемов добычи нефти.

Пусть, для некоторого месторождения рассматриваются различные варианты разработки. В пределах этих вариантов эксперт выбирает максимальный и минимальный объемы добычи и формирует границы, в пределах которых находятся все возможные объемы добычи нефти по всем вариантам разработки.

Пусть базовая шкала для нашего примера делится на 5 равных отрезков (интервалов), которым присваивается оценка в баллах, например, 1, 2, 3, 4, 5. Хотя надо сказать, что вопросы выбора шкалы – 5, 10, 20 или 100 балльной шкалы равномерной или нет – не всегда простые. Ее выбор во многом зависит от физики решаемой задачи, опыта и интуиции руководителя. Именно здесь проявляется субъективность производимых оценок.

Пример построения такой шкалы дан на рис. 9.2.

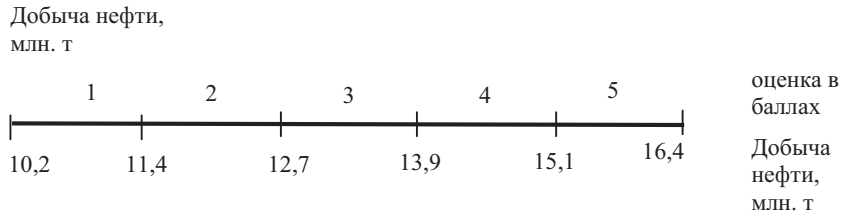


Рис. 9.2

Последовательное сравнение (Метод Черчмена - Акоффа) представляет собой комплексную процедуру измерения, включающую как ранжирование, так и непосредственную оценку. При последовательном сравнении выполняются следующие операции:

- осуществляется ранжирование объектов;
- производится непосредственная оценка объектов на отрезке $[0,1]$, полагая, что числовая оценка первого в ранжировке объекта равна единице, то есть $f(x_1)=1$;
- решается, будет ли первый объект превосходить по предпочтительности все остальные объекты. Если да, то эксперт увеличивает

значение числовой оценки первого объекта, так, чтобы она стала больше суммы числовых оценок остальных объектов, то есть:

$$f(x_1) > \sum_{i=2}^n f(x_i),$$

в противном случае изменяется величина $f(x_1)$ так, чтобы она стала меньше, чем сумма оценок остальных объектов;

г) решается, будет ли второй объект предпочтительнее, чем все последующие вместе взятые объекты и изменяется $f(x_2)$ так же как это описано для $f(x_1)$ в пункте в);

д) продолжается операция сравнения предпочтительности последующих объектов, и изменяются числовые оценки этих объектов в зависимости от решения о предпочтительности.

Метод фон Неймана – Моргенштерна заключается в получении численных оценок альтернатив с помощью так называемых вероятностных смесей, который мы рассматривать не будем.

Практика применения описанных методов показала, что наиболее эффективно комплексное применение различных методов субъективных измерений для решения одной и той же задачи. И только СППР может предоставить руководителю такую возможность, которая позволяет выполнить сравнительный анализ результатов и повышает обоснованность делаемых выводов. При этом следует учитывать, что методом, требующим минимальных затрат, является ранжирование, а наиболее трудоемким является метод последовательного сравнения.

С. Подбор экспертов при субъективных сравнениях

Так как проведение субъективных измерений основано на работе руководителей и экспертов, их опыте, компетентности, интуиции, и т.д., кроме описанных выше проблем определения шкалы измерений и методов измерений, необходимо еще решать проблемы подбора экспертов, определения вида экспертиз и организации их проведения, а также обработку результатов экспертиз. В некоторых случаях все это становится серьезной проблемой.

При проведении экспертных оценок обычно предполагается, что мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного экспер-

та. Термин «эксперт» происходит от латинского слова expert – опытный.

Экспертиза может быть индивидуальной, когда в ней участвует один эксперт, или коллективной, когда в ней участвует группа экспертов. Концепцию коллективной многовариантной экспертизы целесообразно основывать на следующих основных принципах [9.13]:

- экспертиза проводится в экспертных комиссиях, число которых не меньше числа различных точек зрения на исследуемую проблему;
- в одну и ту же комиссию включаются эксперты, имеющие близкие точки зрения по рассматриваемым вопросам;
- в каждой комиссии работают эксперты, не имеющие конфликтных взаимоотношений;
- организация и проведение экспертизы, обработка ее результатов проводится специальной группой, не заинтересованной в результатах экспертизы.

Характеристики группы экспертов определяются на основе индивидуальных характеристик экспертов: компетентности, креативности, отношения к экспертизе, конформизма, конструктивности мышления, коллективизма, самокритичности. Подбором экспертов обычно занимается группа управления по проведению экспертного опроса.

Проведение опроса экспертов является одним из основных этапов совместной работы группы управления и группы экспертов. На этом этапе выделяются следующие процедуры: решение организационно-методических вопросов; постановка задачи и предъявление вопросов экспертам; информационно обеспечение работы экспертов.

Вид опроса по существу определяет разновидность метода экспертной оценки. Основными видами опроса являются: анкетирование, интервьюирование, метод Дельфы, мозговой штурм, дискуссия, метод дерева целей, Метод группового учета аргументов (МГУА), морфологические методы Цвикки.

После проведения опроса группы экспертов осуществляется обработка результатов. В зависимости от целей экспертного оценивания при обработке результатов опроса возникают следующие задачи: определение согласованности мнений экспертов; построение обоб-

щенной оценки объектов; определение зависимости между суждениями экспертов; оценка надежности результатов экспертизы.

Здесь мы не будем детально описывать перечисленные выше проблемы, а необходимые их них будем рассматривать по мере изложения материала в других разделах книги. В этом разделе коснемся лишь вопроса подбора экспертов – оценки их компетентности. В частности, в простейшем случае, воспользовавшись таблицей 9.10, легко вычислить коэффициент относительной важности эксперта по выражению:

$$K_{OB}^i = \sum_j k_{ij} / \sum_{ij} a_{ij} .$$

K_{OB}^i — коэффициент относительной важности; количество голосов (других экспертов), отдавших своё предпочтение данному (i -му),

$$\sum_i k_i = 1$$

Однако, поскольку например, оценка эффективности реализуемых целей и стратегий какой либо фирмы и, тем более, их модификация – чрезвычайно важная и сложная, то крупные фирмы не жалеют усилий и расходов на их определение и в этом случае может быть использован более совершенный аппарат для определения компетентности экспертов (групп экспертов).

В этом случае для разбиения экспертов на группы им раздают анкеты, в которых они должны указать наиболее целесообразные с их точки зрения варианты. Таким образом, "точка зрения" эксперта в первом грубом приближении описывается набором его ответов. В памяти вычислительной машины результаты могут быть представлены в виде матрицы $n \times k$, где n - число экспертов, а k - число вопросов. Задача структуризации мнений с помощью СППР сводится к разбиению множества точек $x_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}$ на такие группы G_1, G_2, \dots, G_r , чтобы расстояния между точками в пределах каждой группы были как можно меньше расстояния между группами – как можно больше. СППР может это сделать различными методами, которые здесь не рассматриваются.

Для выявления конфликтных взаимоотношений эксперты также должны ответить на вопросы анкеты, но задавать вопрос типа "Оцените уровень конфликтности с Вами каждого эксперта из представленного ниже списка" – опасно, т.к. велика опасность получить дезинформирующие ответы. Это связано с тем, что на отношения экспертов накладываются условия подчиненности, влияния, дружбы, совместной работы и т.д. Поэтому лучшие результаты дают так называемые косвенные вопросы [9.13]. Результаты анкетирования вводятся в СППР, которая и производит автоматическую классификацию конфликтности экспертов и формирует группы по принципу бесконфликтности.

Одним из вопросов, который может интересовать руководителя, а возможно и всех участников, – это оценка влияния, компетентности, добросовестности или других качеств своих коллег. В информационно-издательских фирмах такая оценка может быть достаточно актуальна, так как, во-первых, часто меняется освещаемая фирмой тематика и, во-вторых, обозреватели, аналитики и другие сотрудники фирмы могут подвергаться лоббистскому давлению со стороны организаций, заинтересованных в выгодном для них освещении событий. Одним из самых простых способов определения – попросить проставить оценки каждого члена группы своим коллегам и по этим оценкам получить оценку для каждого. Можно предложить произвести парные сравнения и произвести оценки в виде индексов δ_{jkd} , характеризующие степень превосходства j -го члена группы относительно k -го с субъективной точки зрения d -го члена группы, $j, k=1, N$. При этом предполагается, что член группы d не сравнивает себя с другими членами группы, т.е. $j \neq d, k \neq d$. Индекс δ_{jkd} будем определять в соответствии с табл. 7.5. Сравнение оценок может быть произведено любым способом, например, показанным в разд. 7.5.

9.6. Анализ иерархий

Метод анализа иерархий (МАИ) предложен Т. Саати в конце семидесятых годов прошлого века [9.14]. Основные принципы МАИ основываются на том, что для практических целей система часто рассматривается в терминах ее структуры и функций. В действи-

тельности структура и функции между собой тесно связаны. Структура системы позволяет анализировать ее функции, а в процессе функционирования может измениться структура системы. Иерархия является некоторой абстракцией структуры системы, предназначенной для изучения функциональных взаимодействий ее компонент и их воздействий на систему в целом.

Иерархия есть определенный тип системы, особенность которой заключается в том, что элементы системы могут группироваться в связанные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием другой вполне определенной группы элементов и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы. Будем считать, что элементы в каждой группе иерархии (называемой уровнем, кластером) независимы. Заметим, что хотя в этом определении обратная связь не предполагается, тем не менее, многие специалисты считали и считают иерархии важным элементом анализа. Красноречивым подтверждением увлечения иерархическими структурами является следующая цитата из достаточно давно вышедшей книги: “Очевидна огромная сфера приложений иерархической классификации. Это наиболее мощный метод классификации, используемый человеком для приведения в порядок опыта, наблюдений и информации...”.

Оценка вариантов решений методом анализа иерархий сводится к следующему:

1. Изучаемую систему представляют в виде иерархии, которая изображается графом связей (в простейшем случае типа дерево) между элементами уровней – первый и очень важный этап решения задачи.

Нулевой уровень иерархии (фокус иерархии) – глобальный критерий (цель) системы. Следующими уровнями иерархии могут служить: *акторы (1- уровень)* - участники процесса, действующие силы, организации, коллективы, поведение и предпочтения которых могут воздействовать на результаты (исходы), виды критериев; *цели или критерии*, определяющие действие акторов; *возможные действия акторов* – стратегии; *альтернативные варианты решений* – сценарии прогнозируемого или желаемого будущего, варианты проектов, программ и т.д.

2. Входной информацией для расчетов, выполняемых СППР, служат матрицы парных сравнений приоритетов элементов нижнего уровня иерархии, с точки зрения элементов верхнего (предыдущего) уровня, составляемые экспертами (или руководителями). По этим матрицам СППР рассчитывает вектор относительных приоритетов, являющийся собственным нормированным вектором матрицы суждений, который чаще всего, однако, вычисляется по следующему приближенному алгоритму: в матрице суждений необходимо суммировать элементы каждой строки и нормализовать сумму делением ее на сумму всех элементов матрицы; сумма полученных результатов будет равна единице; первый элемент результирующего вектора будет приоритетом первого объекта, второй – второго и т.д.

Следуя [7.7] для парных сравнений эффективнее всего использовать 9-балльную шкалу, исходя из которой, составляется матрица приоритетов (суждений), хотя при необходимости, могут быть использованы и лингвистические переменные. Эта 9-балльная шкала выглядит следующим образом:

1 - одинаковая значимость (два сравниваемых фактора (объекта) вносят одинаковый вклад в конечный результат);

3 - слабое преобладание (легкое предпочтение отдается 1 объекту);

5 - существенное преобладание;

7 - очевидное преобладание;

9 - абсолютное преобладание;

2, 4, 6, 8 - промежуточные значения преобладания (например, 2 - слабо-существенное преобладание).

Матрица суждений составляется таким образом, что если приоритет i -го объекта перед j -м есть b_{ij} , то приоритет j -го объекта перед i -м – $1/b_{ij}$, а $b_{ii}=1$ и b_{ii} не равно нулю.

Сложность составления матрицы приоритетов состоит в том, что оценки руководителя могут оказаться несогласованными. Например, сравнивая три объекта C_1, C_2, C_3 они могут дать следующие противоречивые оценки: $C_1 = 5C_2$, $C_1 = 6C_3$, $C_2 = 4C_3$, т.е. $C_1 = 20C_3$, и $C_1 = 6C_3$.

Для контроля согласованности матриц приоритетов вычисляются две характеристики этой матрицы: индекс согласованности (ИС) и отношений согласованности (ОС):

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1),$$

где n - размерность матрицы приоритетов (число сравниваемых объектов);

λ_{\max} – наибольшее собственное значение (число) матрицы суждений, которое чаще всего вычисляется по следующему алгоритму: сначала суммируется каждый столбец матрицы суждений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты, рассчитанного вектора приоритетов, сумма второго столбца на вторую и т.д.; затем полученные числа суммируются, и получается значение λ_{\max} .

Можно показать, что при $\lambda_{\max}=n$ обратно симметрическая матрица, которой является матрица суждений, является идеально согласованной.

Индекс согласованности, сгенерированный случайным образом, называется случайным индексом согласованности (СИ). В табл. 9.11 приведены значения СИ в зависимости от числа n столбцов (строк) матрицы суждений.

Таблица 9.11

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СИ	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Продолжение Таблицы 9.11

11	12	13	14	15
1.51	1.54	1.56	1.57	1.59

Отношение ИС к СИ называется отношением согласованности (ОС) $\text{ОС}=\text{ИС}/\text{СИ}$. Значение ОС меньше или равное 0.10 считается приемлемым [9.14], если нет, то руководителю необходимо пересмотреть свои приоритеты или даже саму иерархию.

3. Из векторов приоритетов, оценивающих влияние элементов $i+1$ го уровня на каждый связанный с ним элемент i -го уровня (связь фиксируется наличием соответствующей дуги в графе иерархии), образуется матрицу приоритетов, которая умножается справа на вектор приоритетов полученный на i -м уровне иерархии и получается вектор приоритетов $i+1$ -го уровня.

4. Последовательное вычисление приоритетов элементов от верхних уровней к нижним позволяет численно оценить влияние всех включенных в иерархию элементов (акторов, стратегий, видов

критериев, критериев, сценариев, действий и т. д.) на возможные исходя (терминальные вершины графа иерархии).

5. Сравнивая полученные приоритеты для элементов последнего уровня можно установить соотношения в их значимости (выгодности, эффективности) с точки зрения руководителя. Если задача состоит в выборе одного из альтернативных решений, то предпочтение следует отдать варианту с наибольшим приоритетом.

Рассмотрим пример.

Пусть, известно, что для разработки некоторого нефтяного месторождения в результате анализа его геолого-геофизических и геолого-гидродинамических характеристиках определено три благоприятных технологических варианта разработки: законтурное заводнение (D1), циклическое заводнение (D2), циклическое заводнение в сочетании паротепловой обработкой скважин на всех объектах разработки (D3).

Предположим, что из множества показателей эффективности разработки месторождений нефти и газа руководитель выбрал следующие показатели (критерии):

V1. Экономические показатели

- C1. Чистый дисконтированный доход
- C2. Внутренняя норма рентабельности
- C3. Срок окупаемости
- C4. Индекс доходности

V2. Риски

C5. Оправданность выбора технических решений (систем (вариантов) разработки)

- C6. Надежность контроля за выработкой запасов
- C7. Экономический риск

V3. Охрана окружающей среды и недр

- C8. Загрязнение воздуха и воды
- C9. Сохранность флоры и фауны

Руководителю необходимо выбрать лучший вариант разработки, с учетом этого набора этих показателей эффективности.

Для поставленной задачи можно построить следующую иерархию (рис. 9.3).

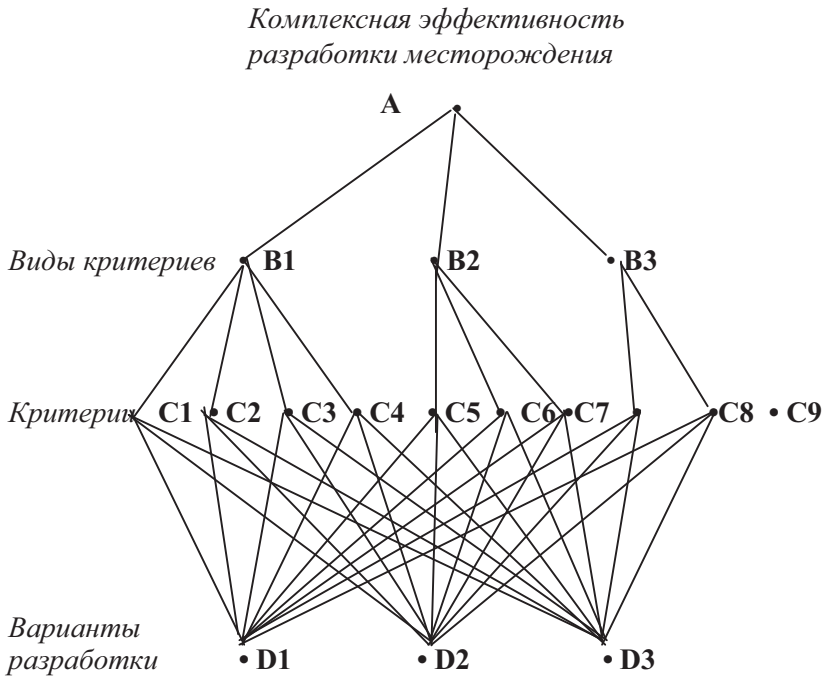


Рис. 9.3

Здесь буквами **В** обозначены виды критериев (показателей) эффективности разработки месторождений, буквы **С** обозначают конкретные критерии, буквы **Д** – варианты разработки.

Пусть матрицы парных сравнений (суждений или приоритетов) оказались следующими (табл. 7.11 и 7.12):

Сумма всех элементов матрицы равна 11,33; Π - вектор приоритетов.

$$\lambda_{\max.} = (1+0.5+0.33)0.53+(2+1+0.5)0.31+(3+2+1)0.15=2.955 \text{ и}$$

$ИС = -0.0025$, то есть эта матрица является согласованной. Заметим, что отрицательное значение ИС получается в данном случае в силу приближенности алгоритма вычислений.

1-й уровень

Таблица 9.12

A	AB1	AB2	AB3	Σ по строке	П
AB1	1	2	3	6	$6 / 11,33 = 0,53$
AB2	1/2	1	2	3,5	0,31
AB3	1/3	S	1	1,83	0,15

2-й уровень

Таблица 9.13

B1	B1C1	B1C2	B1C3	B1C4	Σ по строке	П
B1C1	1	1	4	5	11	0,38
B1C2	1	1	4	5	11	0,38
B1C3	1/4	1/4	1	4	5,5	0,19
B1C4	1/5	1/5	J	1	1,65	0,05

B2	B2C5	B2C6	B2C7	Σ по строке	П
B2C5	1	4	2	7	0,61
B2C6	1/4	1	1	2,25	0,19
B2C7	1/2	1	1	2,5	0,2

B3	B3C8	B3C9	Σ по строке	П
B3C8	1	4	5	0,8
B3C9	1/4	1	1,25	0,2

В общей матрице приоритетов второго уровня иерархии (9.3) будет столько столбцов, сколько элементов на предыдущем уровне (в данном случае 3), а строк будет столько, сколько элементов на нижнем уровне (т.е. 9). Эта матрица справа умножается на вектор приоритетов видов критериев:

$$\|\Pi(A, B_i, C_i)\| = \begin{bmatrix} 0,38 \\ 0,38 \\ 0,19 \\ 0,05 \\ 0,61 \\ 0,19 \\ 0,2 \\ 0,8 \\ 0,2 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0,53 \\ * 0,31 \\ 0,15 \end{matrix} \quad (9.3)$$

Вектор приоритетов критериев с учетом приоритета видов критериев по отношению к глобальному критерию будет равен:

$$\Pi(A, B_i, C_i) = [0,2 \ 0,2 \ 0,1 \ 0,03 \ 0,19 \ 0,06 \ 0,07 \ 0,12 \ 0,03]$$

После этого шага составляется 9 матриц сужений (по числу критериев) приоритетов вариантов разработки месторождений (табл. 9.14):

3-й уровень иерархии

Таблица 9.14

C1	C1D1	C1D2	C1D3	Σ по строке	Π
C1D1	1				
C1D2		1			
C1D3			1		
.....					
.....					
C9	C9D1	C9D2	C9D3	Σ по строке	Π
C9D1	1				
C9D2		1			
C9D3			1		

Далее из девяти полученных СППР векторов столбцов приоритетов ею формируется матрица приоритетов третьего уровня иерархии, которая умножается на вектор приоритетов, полученный на пре-

дыдущем шаге и получается вектор приоритетов вариантов разработки месторождения.

В заключение следует сказать, что если эксперту или руководителю удалось свести задачу выбора лучшего решения к иерархической, то вполне можно использовать метод, описанный в настоящем разделе. Хотя класс задач, сводящихся к методам анализа иерархий достаточно широк (в [9.14] указываются задачи выбора учебного заведения, оценки национального богатства страны, размещения ресурсов и т.п.) существует много проблем, не решаемых этим методом.

Это главным образом задачи, в которых необходимо учитывать взаимную зависимость (взаимное влияние) результирующих факторов друг на друга. В нашем случае это взаимное влияние результатов разработки.

9.7. Метод субъективных предпочтений

В настоящее время предложено много методов ранжирования, использующих отношения предпочтения и вводящих функции согласия (concordance), несогласия (discordance) и пороговые значения для определения отношений эквивалентности, предпочтения и значительного предпочтения [9.15].

Модифицируя эти подходы, отношения предпочтения будем строить посредством лингвистических переменных или балльных оценок. Тогда отпадает необходимость введения пороговых значений, согласование которых тоже может вызвать процедурные сложности.

Отношение предпочтения по j -му критерию $p_j(k, l)$ для пары альтернатив (A_k, A_l) определим соотношением:

$$p_j(k, l) = \begin{cases} \frac{r_{kj} - r_{lj}}{m_j}, & \text{если } r_{kj} > r_{lj}, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (9.4)$$

где m_j - балльность шкалы оценок ЛПР по j -му критерию.

Отношение предпочтения по паре альтернатив (A_k, A_l) с учетом всех критериев определим соотношением:

$$P(k, l) = \sum_{j=1}^J k_j p_j(k, l) = \sum_{j=1}^J k_j \begin{cases} \frac{r_{kj} - r_{lj}}{m_j}, & \text{если } r_{kj} > r_{lj}; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (9.5)$$

где k_j – «нормированный» вес (значимость) j -го критерия;

$k_j = \bar{k}_j / \sum_{j=1}^J \bar{k}_j$, где \bar{k}_j – лингвистическое или балльное значение «веса» j -го критерия.

Заметим, что (9.5) есть функция согласия с тем, что k предпочтительнее l , а функция $P(l, k)$ – функция несогласия с этим утверждением.

Нечеткое отношение доминирования альтернативы A_k над альтернативой A_l определим функцией принадлежности $\mu_D(k, l)$, характеризующей интенсивность доминирования элемента k над элементом l .

$$\mu_D(k, l) = \begin{cases} P(k, l) - P(l, k), & \text{если } P(k, l) > P(l, k); \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (9.6)$$

$\mu(k, l)$ характеризуется следующими свойствами:

- $\mu(k, l)$ возрастает с увеличением превосходства альтернативы A_k над альтернативой A_l , в этом случае, $\mu(k, l)$ – неубывающая функция от r_{kj} , $\forall j$ и невозрастающая функция от r_{lj} , $\forall j$.

- $\mu(k, l) = 1$ означает безусловное превосходство альтернативы A_k над альтернативой A_l .

- $\mu(k, l) = 0$ означает безусловное отсутствие превосходства альтернативы A_k над альтернативой A_l или полное отсутствие аргументов в пользу превосходства одной альтернативы над другой.

Поскольку $\mu_D(k, l)$ – нечеткое множество, альтернатив $A_k, A_l, \forall k, \forall l$ таких, что они доминируются A_k , естественно определить отношение недоминирования $\mu_{ND}(k, l)$ как дополнение к $\mu_D(k, l)$.

$$\mu_{ND}(k, l) = 1 - \mu_D(k, l) \quad (9.7)$$

Интенсивность доминирования альтернатив $\mu^*(A_k)$ определяется следующим очевидным образом:

$$\mu_D^*(A_k) = \min_{\substack{l=1, \dots, m \\ l \neq k}} \mu_{ND}(l, k) = \min[1 - \mu_D(l, k)] = \quad (9.8)$$

$$1 - \max \mu_D(l, k) = 1 - \max[P(l, k) - P(k, l)]$$

Лучшая альтернатива соответствует условию:

$$\mu^*(A_k^*) = \max_{k=1, \dots, m} \mu^*(A_k) = 1 - \min_{\substack{k=1, \dots, m \\ l=1, \dots, m \\ l \neq k}} \{\max[P(l, k) - P(k, l)]\} \quad (9.9)$$

Алгоритм ранжирования альтернатив может иметь следующий вид:

1. Инициализация задачи: задание базовых шкал, определение по ним критериальных оценок альтернатив, которые сводятся в матрицу оценок F и вектор V «весов» критериев.

2. Вычисление значений отношений предпочтения по каждому критерию для каждой пары альтернатив $p_j(k, l)$, $\forall_k \forall_l \forall_j$ по формуле (9.4).

3. Вычисление значений отношений предпочтения с учетом всех критериев для каждой пары альтернатив $P(k, l)$, $\forall_k \forall_l$ по формуле (9.5).

4. Вычисление отношений доминирования по формуле (9.6).

5. Вычисление отношений недоминирования по формуле (9.7).

6. Вычисление интенсивности доминирования каждой альтернативы по формуле (9.8).

7. Определение лучшей альтернативы по формуле (9.9). Ранжирование альтернатив.

Глава 10

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

10.1. Классификация методов прогнозирования и их характеристика

Под прогнозированием понимается оценка состояния объекта или процесса, в которое он перейдет через определенный период времени – это сложная проблема. Существует огромная литература и большое количество программных средств, реализующих алгоритмы прогнозирования. Достаточно сказать, что в настоящее время пакетов программ насчитывается более двухсот [10.1]. Используя эти программные средства, получить прогноз сравнительно легко. Трудно оценить его достоверность. Методы прогнозирования относительно хорошо работают, когда процесс стационарен, то есть его характеристики слабо изменяются во времени. Хорошо работают эти методы и в том случае, когда функция изменения характеристик процесса известна. К сожалению, так бывает далеко не всегда. Тем не менее, методами прогнозирования в той или иной форме при принятии управленческих и проектных решений люди всегда пользовались и пользуются. Ими необходимо пользоваться как при принятии решений одним руководителем, так и при проведении переговоров при принятии групповых решений.

С точки зрения последствий принимаемых решений различают прогнозы по времени, которые в основном сводятся к прогнозированию временных рядов, а также прогнозы, связанные с территориальными, структурными, параметрическими изменениями, вызванными реализацией принимаемых решений.

При классификации по времени прогнозирования различают [10.1]:

- *оперативный прогноз*, рассчитываемый на перспективу, на протяжении которой не ожидается существенных изменений объекта наблюдения, то есть количественные и качественные структурные характеристики остаются неизменными;
- *краткосрочный прогноз*, рассчитываемый на перспективу количественных изменений;
- *долгосрочный* – на перспективу количественных и качественных изменений;
- *среднесрочный* - охватывает перспективу между краткосрочным и долгосрочным прогнозами.

При классификации по целям прогнозирования выделяют: целевой; поисковый и нормативный прогнозы.

Целевой прогноз отвечает на вопрос, что именно желательно и почему. Он указывает наиболее желательное состояние системы. При таком прогнозе происходит построение по определенной шкале оценочной функции предпочтительности по таким, например, лингвистическим категориям (оценкам) как: нежелательно, менее желательно, рационально, хорошо и т.п., которые позволяют оценить итоговый результат.

Поисковый прогноз состоит в определении объективно существующих тенденций развития путем анализа, например, исторических тенденций. Этот вид прогнозирования основан на использовании принципа развития из настоящего в будущее. Он состоит в определении желаемых состояний в будущем и оценок их достижения. Типичным прогнозом этого вида является, например, прогноз, основанный на анализе потребительского рынка. Он должен определить какие типы виды горючего будут разрабатываться и в каких количествах, а также с какой вероятностью могут быть достигнуты планируемые результаты в установленные сроки и какие ресурсы необходимы для этого.

Нормативный прогноз определяет пути (сценарии) и сроки достижения возможных состояний и явлений, принятых в качестве целей. В этом смысле, он может, например, состоять в уточнении вариантов необходимого перечня материально-технических ресурсов, производственных площадей, оборудования, кадрового обеспечения и т.п.

Расчет нормативного прогноза во времени может происходить от будущего к настоящему. Методическая основа этого прогноза аналогична динамическому программированию. Но, в отличие от динамического программирования, нормативный прогноз не предусматривает обязательной оптимизации процесса. Нормативное прогнозирование близко к нормативным плановым и проектным разработкам. Отличие состоит в том, что планы подразумевают директивное выполнение мероприятий, тогда как прогнозирование – это описание вероятностных альтернатив достижения заданных состояний, оно носит информационный характер.

Программный прогноз предназначен для исследования возможных путей и мер по достижению поставленных целей и позволяет сформулировать гипотезу о возможных взаимовлияниях различных факторов, указать гипотетические сроки и очередность достижения промежуточных целей на пути к главной, выполняется в рамках определенной проблемы.

Проектный прогноз позволяет определить приоритетность образцов того или иного явления в будущем, содействует отбору оптимальных вариантов, перспектив проектирования на основе, которая затем реализует реальные проектные работы.

Представленные виды прогнозов в зависимости от характера источника информации и применяемых методов прогнозирования могут быть подразделены на два класса: эвристические и фактографические [10.1, 10.2, 10.3].

К эвристическим относятся методы, основанные на логическом (теоретическом и эмпирическом) анализе модели процесса развития объекта прогнозирования. В него входят, в частности, и экспертные оценки (индивидуальные и коллективные). В этих методах основное значение имеют квалификация, опыт и добросовестность (объективность) эксперта. Эти методы опираются на модели качественного описания систем, к которым относятся различные методы проведения экспертных опросов, такие как: анкетирование, интервьюирование, метод Дельфы, мозговой штурм, дискуссия, а также модели морфологического, функционально-стоимостного анализа, решающих матриц, методы типа прогнозных сценариев, прогнозных графов и «деревьев целей», группового учета аргументов, специально организованных деловых игр.

Фактографические методы на основе анализа статистических данных, характеризующих объект или процесс прогнозирования за прошедший период, устанавливает закономерности изменения и тенденции их развития.

Эти методы прогнозирования предполагает использование формализованных (математических) моделей, которые делятся на [10.3]: экстраполяционные, системно-структурные, ассоциативные и методы с опережающей информацией.

Экстраполяционные модели: наименьших квадратов, экспоненциального сглаживания, вероятностного моделирования и адаптивного сглаживания.

Системно-структурные: функционально-иерархическое моделирование, морфологический и матричный анализ, сетевое моделирование, структурные аналогии.

Ассоциативные методы: имитационное моделирование (статистическое моделирование, системная динамика), историко-логический анализ.

Опережающей информации: анализ потоков публикаций, оценки значимости изобретений, анализ патентной информации.

Методов и моделей прогнозирования очень много. В качестве примеров рассмотрим несколько методов, наиболее популярных и широко применяемых в нефтяной и газовой промышленности. Это, однако, не означает, что другие методы не могут использоваться для прогнозирования последствий принимаемых решений.

10.2. Прогнозирование временных рядов

Сегодня наиболее применяемым методом прогнозирования временных рядов является экстраполяционный метод прогнозирования. Наибольшее распространение для этой цели имеет следующее представление временного ряда:

$$y_i = x_i + s_i + \varepsilon'_i,$$

где x_i – детерминированная неслучайная компонента процесса (тренд, представляющий собой устойчивое изменение показателя в течение времени); s_i – сезонная компонента, характеризующая устойчивые внутригодичные колебания (они, как правило, отражают устойчивые циклические колебания); ε'_i – остаточная компонента,

представляющая собой расхождение между фактическими и расчетными значениями процесса (y_i), эта компонента является стохастической и отражает фактически случайные колебания и шумы процесса.

Общая задача прогноза состоит в определении вида экстраполяционных функций $x_i, s_i, \hat{\epsilon}_i$ на основе исходных эмпирических данных.

Первым этапом экстраполяции тренда является выбор оптимального вида функции описывающей эмпирический ряд. Для этого проводится предварительная обработка и преобразование исходных данных с целью облегчения выбора вида тренда путем сглаживания и выравнивания временного ряда и определения функции

Начнем с широко используемого метода наименьших квадратов [10.4]. Суть его заключается в отыскании параметров модели тренда, минимизирующей ее отклонение от точек исходного временного ряда:

$$f_{n+1} = \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min ,$$

где \tilde{y}_i - расчетное значение исходного ряда;

y_i - фактическое значение исходного ряда;

n - число наблюдений;

f_{n+1} - прогноз на момент $n+1$.

Классический метод наименьших квадратов предлагает равноценность исходной информации в модели. Однако более поздние наблюдения, особенно, если они получены после оказания на объект или процесс каких-либо воздействий, являются более ценными, чем сделанные ранее. Это потребовало дисконтирования (уменьшение ценности) более ранних наблюдений, которое можно учесть введением в предыдущее соотношение «весов» $\alpha_i < 1$. Тогда:

$$f_{n+1} = \sum_{i=1}^n \alpha_i (\tilde{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min$$

Отметим, что формальных процедур выбора коэффициентов дисконтирования не разработано. Они выбираются исследователем интуитивно, что является субъективным фактором прогнозирования этим методом.

Часто используемым методом является также метод экспоненциального сглаживания, обобщающий метод скользящего среднего. Скользящее среднее вычисляется по формуле:

$$f_i = \frac{x_{i-n} + x_{i-n+1} + \dots + x_{i-1}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n x_{i-l},$$

где x_{i-l} - реальное значение показателя на момент x_{i-l} .

Выражение $f_i^k(y) = \alpha \sum_{i=0}^n (1-\alpha)^i f_{i-1}^{k-1}(y)$ называется экспоненциальной средней k -го порядка для ряда y , где α - параметр сглаживания.

При малом α прогнозные оценки учитывают все наблюдения. При этом уменьшение влияние «старых» данных происходит медленно. Чем больше значение α , тем больше вклад последних наблюдений в формировании тренда. Известно несколько основных соотношений, позволяющих найти приближенную оценку α . Одно из них – соотношение Р. Брауна, выведенное из условия равенства скользящей и экспоненциальной средней:

$$\alpha = \frac{2}{n+1}.$$

Очевидно, однако, что, только варьируя значения коэффициентов α трудно учесть возможные изменения ситуации даже в ближайшем будущем, и руководителю или эксперту желательно иметь более эффективные средства влияния на прогнозирование.

Точность прогноза. В реальных условиях на развитие процесса или объекта оказывает влияние большое число факторов как внутренних, так и внешних. Часть этих факторов носит случайный характер. Учесть влияние всех этих факторов на развитие событий трудно, а иногда и невозможно. Поэтому возникает желание определить доверительные интервалы прогноза. Такой интервал преобразует точечный экстраполяционный прогноз в интервальный.

Интуитивно ясно, что в основе расчета доверительного интервала прогноза должна быть положена оценка колебаний ряда наблюдаемых значений параметров [10.5]. Обычно такую оценку определяют в виде среднего квадратического отклонения фактических наблюдений от расчетных. В общем виде среднее квадратическое отклонение может иметь вид:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{k}},$$

где k – число степеней свободы, определяемые из соотношения $k = n - z$, где z – число оцениваемых параметров.

В общем виде доверительный интервал для тренда определяется как $\tilde{y} \pm t_\alpha S_y$, где: t_α – значение α -критерия Стьюдента.

Конечно, существуют более сложные и точные методы определения доверительных интервалов, но изложенный метод хорошо иллюстрирует идею, и для оценки точности решения большинства задач прогнозирования этого оказывается достаточно..

В ряде случаев для выбора модели тренда используется прием, основанный на том, что определенные соотношения между изменениями входной и выходной величины предполагают ту или иную функциональную зависимость. При соответствующих отношениях входных и выходных величин могут быть рекомендованы следующие аппроксимирующие зависимости:

$$\Delta y / \Delta x = const \rightarrow \tilde{y} = a_0 + a_1 x,$$

$$\Delta \ln y / \Delta x = const \rightarrow \tilde{y} = a_0 x_1^a,$$

$$\Delta \ln y / \Delta x = const \rightarrow \tilde{y} = a_0 a_1^x,$$

$$\Delta y^2 / \Delta x_2 = const \rightarrow \tilde{y} = a_0 + a_1 x + a_2 x^2,$$

$$\Delta(y/x) = const \rightarrow \tilde{y} = x / (a_0 + a_1 x)$$

Методом позволяющим прогнозировать процессы, содержащие колебательные (сезонные) или гармонические составляющие, например сезонное потребление газа, дебиты скважин по добыче нефти и т.д., является спектральный анализ.

В этом случае в начале по описанным выше методам оценивается тренд. Затем сезонная компонента оценивается с помощью тригонометрического полинома:

$$S(t) = \sum_i (a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t) + \varepsilon'_i,$$

где ω_i – частота колебаний; a_i, b_i – амплитуды колебаний.

В том случае, когда по экспериментальным данным x_i определяется (прогнозируется) среднее значение y_i применяются методы регрессионного анализа. Кривая зависимости условного математического ожидания

$$m_{y/x} = f(x; a_0, \dots, a_i, \dots, a_n)$$

называется регрессией, а уравнение, описывающее эту зависимость – уравнением регрессии. Коэффициенты уравнения регрессии $a_0, \dots, a_i, \dots, a_n$ определяются на основании метода наименьших квадратов.

Одним из популярных в последнее время методов прогнозирования, широко применяемых, в том числе и для определения коэффициентов $a_0, \dots, a_i, \dots, a_n$ стали нейронные сети (НС).

Опираясь на изложенные в гл. 6 данные о нейронных сетях (НС), решение задач прогнозирования временных рядов с помощью НС можно представить следующим образом.

Пусть наблюдается значение одной числовой переменной. В задаче прогноза такого временного ряда необходимо определить, сколько предыдущих значений одной переменной взять и как далеко вперед прогнозировать значение выходной (целевой) переменной. Это означает, что необходимо оценить значение целевой переменной x_t , по предыдущим значениям входного вектора $x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3}, \dots$. Понятно, что прогнозирующая НС, в таком случае, должна иметь всего один выход и столько входов, сколько предыдущих значений мы хотим использовать для прогноза.

При анализе временного ряда порядок наблюдений существенен (они должны быть упорядочены во времени).

В простейшем случае формирование обучающих примеров для НС осуществляется по принципу «движущегося окна»: то есть берется некоторый отрезок временного ряда и из него выделяется несколько наблюдений, например 10; эти наблюдения и будут представлять собой входной вектор. Значением желаемого выхода в обучающем примере будет следующее по порядку наблюдение, то есть одиннадцатое. Затем движущееся окно сдвигается на одну позицию в направлении возрастания времени, и процесс формирования следующей обучающей выборки повторяется. Таким образом, в приведенном примере сеть, работающая в режиме прогноза, должна иметь десять входов и один выход.

С помощью обученной НС можно решить задачу прогноза следующим образом. Предположим, что необходимо прогнозировать значение рыночной цены на нефтепродукты. Обучим НС на отрезке реального временного, например предыдущего месяца (30 дней), выбрав размер окна, равным неделе (7 дней). Нейронная сеть в этом случае будет иметь 7 входов (семь предыдущих дней) и один выход (следующий день). Количество примеров в обучающей выборке равно 29.

Тогда, подавая на входы обученной НС значения рыночной цены за последние 7 дней предыдущего месяца, на ее выходе получим прогнозное значение цены в первый день текущего месяца.

Кроме того, можно выполнить проекцию временного ряда. Вначале сеть обучается на выделенных примерах. Затем выдается прогноз следующего значения, после чего этот полученный результат вместе с предыдущей обучающей выборкой снова подается на вход сети. Выдается очередное прогнозное значение. Такую проекцию можно повторить произвольное число раз, хотя очевидно, что в дальнейшем качество прогноза будет ухудшаться.

При выборе числа входов НС, работающей в режиме предсказания временного ряда, необходимо выбирать разумный компромисс между глубиной предсказания (число входов) и качеством обучения (размер «движущегося окна»).

В случае отсутствия реального временного ряда используется его моделирование, применяя эту модель для обучения НС. Качество моделирования временного ряда с помощью НС в этом случае во многом определяется достоверностью выбранной модели. Однако, в общем случае, применение нейронных сетей для прогнозирования временных рядов не предполагает знание (или определение) модели тренда и (или) сезонной составляющей.

Наибольшее распространение сегодня для прогнозирования временных рядов получили многослойные перцептроны [10.6].

Одной из основных задач при применении НС для решения задач прогнозирования является задача определения конфигурации НС – определение числа входов сети, числа нейронов в скрытом слое и их количества, выбор алгоритма обучения сети и др. Этим вопросам сегодня посвящена обширная литература, к сожалению, строгая ме-

тодика построения таких сетей сегодня находится в стадии становления.

Для целей проектирования и реализации нейросетевых моделей, в том числе и решения задач прогнозирования, наибольшее распространение сегодня получили такие пакеты программ как: математическая система MATLAB (версия 5.2,5.3 с инструментальным средством Networks Toolbox), STATISTICA Neural Networks, Brain Maker, OWL, представляющие собой библиотеку, содержащую большинство известных нейросетевых алгоритмов на языках С и С++, а также AI Trilogy, состоящий из трех самостоятельных приложений: NeuroShell II – средство создания, обучения и тестирования нейросетевых приложений, NeuroWindows – нейросетевая библиотека в исходных текстах, GeneHunter – система оптимизации нейросетей на основе генетических алгоритмов.

10.3. Системная динамика

Имитационные модели широко применяются для прогнозирования поведения систем, при проектировании и размещении предприятий, замене технологического оборудования и управления ими. Результаты имитации, проводимые СППР, позволяют оценить будущее поведение систем и создать тем самым основу для планирования и управления ими, то есть, в зависимости от принятых решений по поводу параметров системы, осуществить прогнозирование последствий этих принимаемых решений.

Системная динамика [10.7, 10.8] наряду с методом статистических испытаний [10.3] также является одним из методов прогнозирования.

Она представляет собой метод моделирования и имитации сложных динамических систем, отличающихся нелинейными и сильно разветвленными структурами контуров регулирования. Этот метод, основанный на отображении в пространстве состояний, был предложен Дж. Форрестером. Основная идея Форрестера состоит в том, что социально-экономические и некоторые другие системы не поддаются исследованию чисто интуитивными методами, поскольку они обладают сложной и динамичной структурой.

Построение имитационных моделей, базирующихся на работах Дж. Форрестера, основано на том, что в качестве математического языка здесь выбран язык численного решения систем дифференциальных и конечно-разностных уравнений. При этом, как правило, в модели отсутствуют случайные величины (не моделируются), а процесс моделирования складывается из этапов: а) установления причинно-следственных связей между явлениями; б) написания на основании пункта а) конечно-разностных уравнений и в) решение уравнений при различных исследуемых параметрах. В России этот метод реализован с помощью специализированных языков моделирования ДИНАМО и ИМИТАК.

В основе моделей Форрестера лежат общие структурные элементы, пригодные для моделирования практически любых социально-экономических систем:

Уровни – параметры системы, получаемые интегрированием соответствующих параметров потоков. Чаще всего – это параметры (факторы) системы, которые численно описывают состояние основных процессов в моделируемой системе. Закон изменения уровня во времени выражается конечно-разностным уравнением:

$$Y(t) = Y(t - \Delta t) + \Delta t C(t - \Delta t),$$

где t – время;

Δt – изменение (приращение) времени;

$Y(t)$, $Y(t - \Delta t)$ – значение уровня в моменты t и $t - \Delta t$;

$C(t - \Delta t)$ – скорость изменения уровня, то есть величина его изменения за единицу времени.

Темпы – параметры потоков, служащие (как переменные состояния) входом интегрирующих звеньев. Темпы определяют скорости изменения, они указывают, насколько единиц и в какую сторону изменяется за единицу времени уровень, если остальные факторы (от которых зависит изменение значения этого уровня) остаются неизменными. Надо заметить, что темпы могут зависеть как от значения уровня, изменение которого они определяют, так и от значений других уровней, других темпов, а также вспомогательных переменных. Таким образом, темпы задают динамику моделируемой системы. Закон изменения темпа задают функциональной зависимостью:

$$C(t) = f(p_1(t), p_2(t), \dots, p_k(t)),$$

где t – время;

$C(t)$ – темп в момент времени t ;

f – произвольная функция от k аргументов. На практике получение вида зависимостей f проводится, как правило, на основе обработки статистической информации по каждой переменной с последующей их аппроксимацией, например, по методу наименьших квадратов;

$p_1(t), p_2(t), \dots, p_k(t)$ – любые переменные (уровни, темпы, дополнительные и вспомогательные переменные), значения которых на момент времени t известны.

Вспомогательные переменные – это, обычно, такие параметры системы, получение изменения динамики которых, не является целью моделирования. Они, однако, отражают и учитывают влияние различных факторов, в том числе и внешних, по отношению к системе. Они влияют на темпы, управляющие изменением уровней модели. Уравнение для расчета вспомогательной переменной аналогично уравнению расчета темпа.

Дополнительные переменные употребляются при выводе результатов моделирования в том случае, если интересующая авторов модели величина не встречается в модели как уровень, темп, вспомогательная переменная. Уравнение для расчета дополнительной переменной также аналогично уравнению расчета темпа.

Кроме того, в языке ДИНАМО всегда присутствует переменная – время. Время – это дискретная переменная, выбор единицы измерения которой, осуществляется разработчиком модели.

Программа на языке ДИНАМО (одной из разновидностей этого языка в СССР и России является язык ИМИТАК (ИМИТационно-Анализирующий Комплекс)) представляет собой совокупность конечно-разностных уравнений, описывающих взаимную зависимость параметров моделируемого процесса.

Процесс выполнения такой программы заключается в вычислении по значениям величин, характеризующих динамический процесс в предыдущий момент времени, новых значений этих величин в последующий момент времени. В системной динамике способ имитации основан на процессе численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений по схеме Эйлера, подразумевающей разбиение отрезка интегрирования (моделирования) на интервалы одинаковой длины. При этом интервал должен быть

меньше любого запаздывания (задержки во времени) в моделируемой системе. Таким образом, переменный уровень аппроксимируется кусочно-линейной функцией, т.е. считается, что между соседними точками уровень изменяется по линейному закону.

Система уравнений системной динамики, которая собственно и является имитационной моделью системы, как уже говорилось выше, формируется после некоторого предварительного формализованного анализа функционирования системы (моделируемого объекта).

Этот анализ основывается на том, что факторы, определяющие поведение моделируемого объекта, порождают информацию, служащую основой принятия решений, направленных на изменение этих факторов. Так в модели появляется замкнутый контур, реализующий информационную систему с обратной связью, который осуществляется в виде связи «уровни - темпы - уровни - темпы» и т.д.

В свою очередь это означает, что на основе механизмов обратных связей СППР может построить модель, которая будет воспроизводить эволюцию системы во времени и одновременно покажет, к чему приведет та или иная структура реальной системы, и правила используемые при принятии в ней решений.

До разработки уравнений системы обычно составляются диаграммы потоков и диаграммы причинных (следственных) связей. Процесс построения диаграммы причинных связей начинается с задания СППР связей между отдельными парами переменных. Если изменение одной переменной вызывает изменение в том же направлении другой переменной, то отношение между ними определяется как положительное. Если изменение одной переменной вызывает обратное изменение другой переменной, то отношение между переменными отрицательное. Таким образом, переменные в диаграмме причинных связей соединены между собой в замкнутые контуры с положительными и отрицательными обратными связями.

В рассматриваемом смысле такие диаграммы имеют сильное сходство с когнитивными картами, а также диаграммами Исикавы [10.9] и потоковыми диаграммами CASE -технологий [10.10] проектирования информационных систем. Поэтому следует считать, что наибольший эффект при построении имитационных систем и информационно-управляющих систем будет при использовании ком-

пьютерной системой комплексного применения трех перечисленных методик (подходов).

В полученной таким образом (после построения потоковой причинно-следственной диаграммы) имитационной модели явно или неявно присутствует величина t – время, которая на самом деле является системным временем имитационной модели и лишь моделирует (имитирует) реальное время.

В процессе имитации переменная t – время изменяется автоматически от заданного начального значения до конца установленного интервала моделирования. Изменение осуществляется с шагом Δt , равным длине элементарного интервала.

Пошаговый процесс имитации имеет следующую последовательность:

- системное время устанавливается в начальное значение;
- по уравнениям темпов, вспомогательных и дополнительных переменных на данный момент системного времени рассчитываются значения всех темпов и дополнительных переменных (значения уровней на это момент уже известны), так как значения уровней заданы начальными условиями;
- если весь интервал моделирования пройден, то процесс заканчивается, иначе системное время увеличивается на величину элементарного интервала;
- по уравнениям уровней рассчитываются значения всех уровней, включают модели, в которых на данный момент системного времени (темпы за предыдущий момент уже известны), далее весь процесс повторяется, начиная со второго шага.

Таким образом, для выполнения имитационного эксперимента (решения задачи прогнозирования последствий принимаемых решений – установленных, рассчитанных параметров модели) в СППР необходимо установить параметры системного времени (начальное значение, шаг, длину интервала моделирования), а также начальные условия (значения уровней в начальный момент системного времени).

В заключение параграфа отметим, что существуют два подхода к имитации – потоковый и событийный.

Потоковые системы имитационного моделирования включают модели, в которых имитируемые элементы непрерывны по спектру

своих значений и дискретны по времени. Событийные системы моделирования дискретны как по значению своих факторов, так и по времени. При событийном подходе все непрерывные изменения в реальном процессе представляются некоторой последовательностью дискретных изменений, называемых событиями. При этом событийный подход к построению имитационных моделей ориентируется на имитацию технологических процессов. Поточковый подход, классическим вариантом которого является системная динамика, рациональнее использовать при имитации экономических механизмов предприятий, отраслей и т.п.

Событийные методы имитации ориентированы на очень сильную детализацию рассматриваемых явлений и основаны только на стохастических зависимостях. Поточковые имитационные системы отображают изучаемые объекты более укрупненно, обладают как детерминированными, так и стохастическими свойствами.

10.4. Использование марковских случайных процессов и методов динамики средних

Одной из основных моделей случайных процессов, используемой в прогнозировании, является, описанная в главе 6 модель марковских цепей. Такими моделями, которые могут быть включены в системы поддержки принятия решений, описывается большое количество физических, биологических, экономических, технических и других явлений. Применительно к нефтяной и газовой промышленности – это процессы технического обслуживания и ремонта нефтяных и газовых скважин, объектов транспорта нефти и газа, оборудования нефте-(газо)перерабатывающих заводов; процессы планирования и организации проведения геолого-технических мероприятий и геофизических исследований скважин, управления запасами и др.

Марковские цепи применяемые для прогнозирования поведения подобного рода систем можно разделить на две группы. Цепи Маркова с дискретным временем и цепи Маркова с непрерывным временем.

Марковских случайных процессы с дискретным временем нашли применение для прогноза множества показателей, которые меняются из года в год одновременно, но непосредственно связи между

ними не установлены ввиду отсутствия информации или крайней сложности этих связей. Примером может служить прогноз потребностей народного хозяйства в ресурсах [10.3]. При этом, однако, при реализации данного прогноза устанавливается на перспективу сама структура потребления ресурсов различными отраслями.

Марковский случайный процесс с дискретным временем задается графом состояний элементов системы и матрицей вероятностей переходов элементов системы из состояния в состояние [10.11].

Обычно при исследовании такого процесса интересуются вероятностями пребывания системы в j -м состоянии, которые вычисляются по следующей рекуррентной формуле:

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^n p_i(k-1)p_{ij}(k),$$

где $p_j(k)$ – вероятность пребывания элементов системы в j -м состоянии на k -м шаге (в k -й дискретный интервал времени);

$p_{ij}(k)$ – вероятности перехода системы из состояния i в состояние j на k -м шаге, образующих матрицу $P(k) = \{p_{ij}(k)\}$ вероятностей перехода, задаваемую соответствующим графом переходов системы из состояния в состояние.

В основе же прогноза лежит вычисление матрицы переходов, элементами которой являются вероятности перехода прогнозируемых параметров из одного состояния в другое, от одного значения к другому [10.3].

Если заданы матрица прогнозируемых показателей (часто она называется матрицей доходов) $A = \{A_{it}\}$ размерности $(n \times T)$, где A_{it} – значение i -го показателя в момент времени t и матрица переходов P , то прогноз вычисляется по формуле:

$$A_{T+1} = PA_T; A_{T+2} = P^2 A_{T+1}; \dots A_{T+K} = P^K A_T,$$

где A_T – вектор значений прогнозируемых показателей в момент времени T .

Основной трудностью использования этой математической модели является трудность получения матрицы вероятностей переходов, так как в этом случае для ее определения необходимо иметь обширный статистический материал по каждому прогнозируемому показателю.

Однако, если удастся такую матрицу построить, то кроме сформулированной выше задачи формулируется задача выбора оптимальной стратегии функционирования (поведения) системы на основе сформулированного критерия оптимальности (например, максимизация дохода за заданное количество шагов – период времени) [10.12].

В случае непрерывного времени матрица вероятностей переходов преобразуется в матрицу интенсивностей переходов элементов системы из состояния в состояние, а уравнения Колмогорова-Чепмена для определения $p_j(k)$ преобразуются в дифференциальные уравнения относительно производных $p'_j(t)$ (см. также главу 6):

$$p'_j(t) = \left(\sum_{k=1}^n \lambda_{jk} \right) p_j(t) + \sum_{k=1}^n \beta \lambda_{kj} p_k(t).$$

при нормирующем условии

$$\sum_{j=1}^n p_j(t) = 1$$

и начальных условиях

$$p_1(0) = 1; p_j(0) = 0, j = 2, 3, \dots, n.$$

По определению интенсивность перехода (параметр λ экспоненциального закона распределения) имеет размерность $1/t$, где t – среднее время перехода элемента системы из состояния в состояние.

То есть технически, марковскую модель с непрерывным временем построить проще, чем модель с дискретным временем, хотя проблема подчинения пуассоновскому закону распределения всех потоков событий, переводящих элементы системы из состояния в состояние, остается.

Как было показано в гл. 6 марковские процессы с непрерывным временем позволяют оперировать не только с вероятностями пребывания системы в своих состояниях, но и непосредственно с самими элементами (параметрами) системы. Для этого может быть использован метод динамики средних.

Метод динамики средних, впервые подробно описанный в [10.11], а затем развитый в [10.13] в метод динамики моментов, позволяет описывать функционирование, а, следовательно, и прогнозирование поведения различных технических, организационных и дру-

гих систем с помощью систем дифференциальных уравнений, аналогичных уравнениям Колмогорова, но записанных, не как обычно, относительно вероятностей пребывания элементов системы в своих состояниях, а относительно средних численностей состояний элементов, а также их дисперсий и корреляционных моментов (для метода динамики моментов).

Метод разработан в предположении, что все потоки событий, переводящие отдельные элементы из состояния в состояние – пуассоновские, тогда динамика поведения элемента, а, следовательно, и всей системы в целом, описывается марковским случайным процессом.

Обычно метод динамики средних применяется там, где система имеет большое количество однородных элементов и состояний. При этом под однородностью элементов понимается, прежде всего, их идентичность относительно интенсивностей переходов из состояния в состояние и идентичность самих этих состояний. В связи с чем, граф состояний системы полностью описывается графом состояния одного элемента.

Система дифференциальных уравнений динамики средних для определения средних численностей состояний элементов $M_j[t]$, в общем виде записывается следующим образом:

$$M'_j(t) = \sum_{\substack{k=1 \\ j=k}}^n \lambda_{jk} M_j(t) + \sum_{\substack{k=1 \\ j=k}}^n \lambda_{kj} M_k(t),$$

при нормирующем условии,

$$\sum_{j=1}^n M_j(t) = N$$

и начальных условиях:

$$M_1(0) = N; M_j(0) = 0, j = 2, 3, \dots, n.$$

В этом случае дисперсия $D_j(t)$ определяется следующим образом:

$$D_j(t) = M_j(t)(1 - (M_j(t)/N)).$$

Выражения для корреляционных функций получено в [10.13] только для случайных процессов типа гибели размножения.

Метод дает также возможность описывать совместное функционирование и следовательно прогнозирование различных однородных

групп элементов, взаимодействующих друг с другом определенным образом в процессе функционирования, а также других отдельных элементов, взаимодействующих с этими группами. В этом случае динамика функционирования системы описывается векторным марковским случайным процессом с зависимыми составляющими [10.13].

В ряде случаев интенсивности λ_{jk} , входящие в систему уравнений, не являются постоянными и зависят от численности элементов рассматриваемого состояния $x_j(t)$, она является случайной величиной для рассматриваемого момента t . В некоторых случаях интенсивности λ_{jk} могут зависеть сразу от численностей нескольких состояний или от численностей состояний других групп однородных элементов системы.

Тогда система дифференциальных уравнений динамики средних становится неопределенной и неразрешимой. Однако эта трудность преодолевается предположением, что интенсивность потоков событий, переводящих элемент из состояния в состояние, зависит не от самих численностей элементов, а от их средних значений (математических ожиданий).

Данное допущение называют принципом квазирегулярности, который позволяет получить приближенное решение уравнений динамики средних. Это допущение приводит к значительным ошибкам при малых значениях общего количества элементов системы N . Если же N велико, то отклонение численности каждого состояния от среднего значения относительно мало и метод динамики средних дает сравнительно малые погрешности. Согласно [10.13], метод динамики средних и динамики моментов целесообразно применять, когда число однородных элементов в группе не менее 8.

Применение рассмотренного метода позволяет не только прогнозировать поведение динамических систем при заданных начальных условиях и параметрах систем, но и позволяет оптимизировать решения по выбору параметров системы, анализируя поведение системы при выбранных параметрах. В этом случае получается своеобразный класс оптимизационных задач, где в качестве ограничений выступают уравнения динамики средних [10.14].

10.5. Прогнозирование скачкообразного изменения состояния систем

Рассмотренные в предыдущих параграфах математические модели построения прогнозов предполагают эволюционное, постепенное изменение процессов или систем. Однако в реальной жизни, часто бывает так, что в жизненном цикле систем существуют периоды как сравнительно медленных эволюционных изменений, так и периоды скачкообразных изменений состояния, вызываемых сравнительно небольшими изменениями внешних воздействий и (или) внутренних параметров системы.

В настоящее время каких-либо универсальных, формальных правил надежного прогнозирования скачкообразных изменений состояния системы не существует. Однако, в ряде случаев для прогнозирования таких изменений в системах поддержки принятия решений могут быть включены модели теории катастроф [10.15, 10.16].

Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий.

В математических моделях скачкообразное изменение может вызвать возникновение дискретных структур из непрерывных, гладких в ответ на плавное изменение внешних условий, описывается теориями особенностей и бифуркаций.

Теория особенностей – это обобщение исследования функций на максимум и минимум, в которых функции заменены отображениями (набором нескольких функций нескольких переменных). Родоначальником этой теории считается американский математик Уитни. Схема применения теории особенностей в прогнозировании основывается в большинстве случаев на предположении, что изучаемый процесс описывается с помощью некоторого числа управляющих и внутренних параметров. Состояния равновесия процесса образуют поверхность того или иного числа измерений в этом пространстве. Проекция поверхности равновесий на плоскость управляющих параметров может иметь особенности. Предполагается, что это особенности общего положения, а не исключительные. В таком случае теория особенностей предсказывает геометрию «катастроф», то есть пере-

скоков из одного состояния равновесия в другое при изменении управляющих параметров.

Слово «бифуркация» означает раздвоение и употребляется для обозначения возможных качественных перестроек или метаморфоз различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят. Общая задача исследования точек бифуркации как математических объектов состоит в их классификации и анализе поведения семейств функций вблизи неустойчивых критических точек (точек бифуркации). Понятие бифуркации позволяет глубже проникнуть в сущность структурной неустойчивости, выявляя ее следствия.

Не ставя себе задачу, подробного описания теории катастроф проиллюстрируем ее применение для решения рассматриваемой проблемы на примере определения (прогнозирования) моментов снижения эффективности газотранспортных систем. Для этой цели в [10.17] на базе катастрофы типа «сборка» была построена следующая математическая модель.

На основе обработки статистических данных о развитии трубопроводного транспорта газа страны были получены количественные значения параметров модели, выражающей зависимость количества газа, потребляемого на собственные нужды, от товаротранспортной работы:

$$z = a_0 + a_1 T + a_2 T^3,$$

где z – потребление газа на собственные нужды (м^3 в год); T – товаротранспортная работа, определяемая в виде перекачки объема газа на среднюю дальность; a_0, a_1, a_2 – параметры, рассчитанные методом наименьших квадратов.

Рост объемов и средней дальности транспортирования газа привели к резкому увеличению товаротранспортной работы и, как следствие, к росту энергозатрат (расхода газа на собственные нужды), которые в дальнейшем могут достичь величины, приводящей к резкому падению эффективности трубопроводного транспорта газа. Из этого следует, что экономическая эффективность транспорта газа в значительной степени зависит от доли газа S , потребляемого на собственные нужды в общем объеме перекачиваемого газа Q .

С учетом этих замечаний балансовое уравнение, представляющее собой условие экономической работы газотранспортной системы имеет вид:

$$(T / L_{cp})S = a_0 + a_1T + a_2T^3,$$

L_{cp} – средняя дальность перекачки объема газа.

Это уравнение баланса позволяет подобрать типовые функции развития газотранспортной системы, в том числе и катастрофы. Введение функции катастроф дает возможность выявить качественные особенности развития сложной системы и в некоторых случаях объяснить на первый взгляд необъяснимые скачки в развитии системы. Учитывая сказанное и используя уравнение «сборки» для выходной переменной T , уравнение, моделирующее рассматриваемый процесс, представляется следующим образом:

$$T' = [(a_1 - (S / L_{cp}) + a_2T^2)]T + a_0.$$

Можно показать [10.17], что скачки (смена технологии) в трубопроводном транспорте газа происходят в момент, когда путь развития системы пересекает поверхность катастрофы, проекция которой на плоскость параметров трубопроводного транспорта газа дает множество катастроф, удовлетворяющее соответствующему уравнению.

Для нахождения соотношения параметров, характеризующих точку пересечения катастрофы типа «сборка» с кривой динамики развития газотранспортной системы, необходимо сопоставить уравнение для V – потенциальной функции моделируемой системы [10.17] и уравнение описывающее множество катастроф. В результате получается критическое значение (S/L_{cp}) , определяющее момент скачка:

$$S/L_{cp} = (3 / \sqrt{4})a_0^{2/3}a_1 + a_2^{2/3}.$$

Таким образом, для определения момента скачка задается приемлемое по соображениям экономической эффективности значение S и вычисляется из последнего уравнения соответствующее ему значение средней длительности перекачки газа L_{cp} , затем сопоставляется полученное значение L_{cp} со статистикой (прогнозом) соответствующего параметра по годам $L_{факт}$, определяется год, в котором L_{cp} превысит $L_{факт}$. Полученный момент и будет определять область неустойчивого развития. Естественно, для того чтобы избежать попадания на такой участок, необходимо заблаговременно, то есть до указанного года, разработать и внедрить новые технологии способные

замедлить рост энергозатрат (стабилизировать величину S на существующем уровне).

10.6. Экспертные методы прогнозирования

Общая характеристика этих методов состоит в следующем.

Экспертные опросы. Анкетирование представляет собой опрос экспертов в письменной форме с помощью анкет. В анкете содержатся вопросы, которые классифицируются по типу и содержанию. По содержанию вопросы делятся на три группы: объективные данные об эксперте, основные вопросы по сути анализируемой проблемы, дополнительные вопросы. По типу основные вопросы классифицируются на: открытые (предполагают ответы в произвольной форме); закрытые (требуют ответа «да», «нет»); с веером ответов (предполагают наличие нескольких достаточно четко определенных вариантов). Часть методов экспертного прогнозирования ориентирована только на личное общение экспертов, но некоторые методы могут оказаться более эффективными за счет использования СППР.

Интервьюирование – это устный опрос, проводимый в форме беседы интервьюера. Для подготовки беседы интервьюер разрабатывает вопросы к эксперту.

Метод Дельфы представляет собой многотуровую процедуру анкетирования с обработкой и сообщением результатов каждого тура экспертам, работающим инкогнито по отношению друг к другу. Название Дельфы взято из истории Дельфийского оракула. В первом туре опроса эксперта предлагаются вопросы, на которые они дают вопросы без аргументирования. После обработки экспертных листов экспертам сообщаются результаты с указанием расположения оценок каждого эксперта. Если оценка эксперта сильно отклоняется от среднего значения, то его просят аргументировать свое мнение или изменить оценку. Во втором туре эксперты аргументируют или изменяют свою оценку с объяснением причин корректировки. Проведение последующих туров осуществляется по аналогичной процедуре. Обычно после третьего или четвертого тура оценки стабилизируются, что служит критерием прекращения дальнейшего опроса.

Мозговой штурм представляет собой групповое обсуждение с целью получения новых идей, вариантов решения проблемы. Мозго-

вой штурм также называют мозговой атакой и методом генерации идей. Для поддержания активности и творческой фантазии экспертов категорически запрещается критика их высказываний.

Дискуссия проводится после предварительного анализа проблем дискуссии экспертами. Сама дискуссия проводится как открытое коллективное обсуждение рассматриваемой проблемы, основной задачей которого является всесторонний анализ всех факторов, положительных и отрицательных, выявление позиций и интересов участников. В ходе дискуссии разрешается критика.

Морфологический анализ разработан и применен впервые швейцарским астрономом Ф. Цвикки. Основная идея этого метода систематически находить все мыслимые варианты решения проблемы или реализации системы путем комбинирования выделенных элементов или их признаков. Цвикки предложил три метода морфологического исследования: метод систематизированного покрытия поля, основанных на выделении так называемых опорных пунктов знания в любой исследуемой области и использовании для заполнения поля некоторых сформулированных принципов мышления; метод отрицания и конструирования, заключающийся в том, что на пути конструктивного процесса стоят догмы и компромиссные ограничения, которые есть смысл отрицать, и следовательно, сформулировав некоторые предложения, полезно заменить их на противоположные и использовать при проведении анализа; метод морфологического ящика, нашедший наиболее широкое применение. Идея здесь состоит в том, чтобы определить все мыслимые параметры, от которых может зависеть решение проблемы (например, технико-экономические показатели), представить их в виде матриц-строк, а затем определить в этом морфологическом матрице-ящике все возможные сочетания параметров по одному из каждой строки. Полученные таким образом варианты могут снова подвергаться оценке и анализу в целях выбора наилучшего. При использовании этого метода можно генерировать варианты так, как это показано в главе 6.

Методы типа дерева целей. Одним из наиболее известных методов этой группы является метод PATTERN (Planing Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers – помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки), разработанный для повышения эффективности процессов

принятия решений в области долгосрочной научно-технической ориентации крупной промышленной фирмы. Сущность этого метода заключается в том, что исходя из сформулированных целей потребителей продукции фирмы на прогнозируемый период, осуществляется построение дерева целей. Для каждого уровня дерева целей вводится ряд критериев. С помощью экспертной оценки определяются "веса" критериев и коэффициенты значимости, характеризующие важность вклада целей в обеспечение критериев. Значимость некоторой цели определяется коэффициентом связи, представляющим сумму произведений всех критериев на соответствующие коэффициенты значимости. Общий коэффициент связи некоторой цели (относительно достижения цели высшего уровня) определяется путем перемножения соответствующих коэффициентов связи в направлении корня дерева. Таким образом, система генерирует варианты, оценивает их, находит лучшие.

Метод решающих матриц. Этот метод предложен Г.С. Поспеловым для решения проблем планирования (прогнозирования) средств на фундаментальные исследования. Идея метода состоит в том, что оценка относительной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, которые эксперт способен осуществить.

Так для осуществления программы научных исследований необходимо выполнение программы соответствующих опытно-конструкторских работ, обладающих соответствующими относительными весами. Последние требуют выполнения программы прикладных исследований, обладающих своими относительными весами. Наконец, для их реализации необходимо выполнение программы фундаментальных исследований, также обладающих своими относительными весами.

То есть в методе решающих матриц эксперт должен указать относительный вклад каждой альтернативы в реализацию альтернативы более высокого уровня, непосредственно предшествующего уровню данной альтернативы. Совокупность этих вкладов образует решающую матрицу.

Прогнозный сценарий – это метод, с помощью которого устанавливается логическая последовательность событий с целью показать, как, исходя из существующей ситуации, можно шаг за шагом развер-

тываться будущее состояние объекта исследования. Описание обычно совершается в явно выраженных временных координатах с помощью таблиц, графиков и т.д. Сегодня в сценарий не только вводятся количественные параметры и устанавливаются их взаимосвязи, но и предлагаются методики составления сценариев с использованием ЭВМ. Сценарий является той информацией, на основании которой проводится дальнейшая работа по прогнозированию.

Метод группового учета аргументов (МГУА) представляет собой дальнейшее развитие метода регрессионного анализа с использованием систем поддержки принятия решений. Он основан на принципах теории обучения и самоорганизации, и в частности на принципе «селекции», или направленного отбора. Так, алгоритмы МГУА, построенные по схеме массовой селекции, осуществляют компьютерный перебор возможных функциональных описаний (регрессионных уравнений – моделей трендов) объекта с целью выбора того описания, которое является оптимальным с точки зрения выбранного критерия. Модели трендов обычно отличаются друг от друга как по числу используемых аргументов, так и степенью описания (уравнения регрессии).

Метод функционально-стоимостного анализа (ФСА) основан на выявлении и описании функций, которые должно выполнять анализируемое изделие (или анализируемый технологический процесс). При этом, абстрагируясь от конструкции изделия, требуется ответить на вопрос: "Что дает эта вещь?"

После определения функций проводится встречный анализ по следующей схеме вопросов: "Необходимы ли эти функции?"

Если да, то необходимы ли предусмотренные количественные характеристики, связанные с выполнением изделием данных функций?

Каким наиболее экономичным путем можно достичь выполнения этих функций?

При проведении ФСА часто прибегают к построению функциональных моделей объекта, изображаемых в виде схем, графиков таблиц (матриц) и в другом виде.

Неодинаковая степень важности функций объекта характеризуется в методике ФСА понятием значимости функций. При этом под значимостью функций понимается выражение в системе экспертных

оценок отношения значимости данной функции к другой или другим функциям объекта.

Деловые игры (ДИ). Сегодня существует несколько взаимодополняющих определений деловых игр.

ДИ можно определить как имитацию группой лиц хозяйственной или организационной деятельности предприятия в учебных, производственных или исследовательских целях, выполняемую на модели объекта.

ДИ определяют также как поиск оптимальных решений многокритериальных производственных задач в условиях недостаточности и недостоверности имеемой информации, анализ выявления недостатков и путей их устранения для комплексной производственно-хозяйственной задачи с предельно распределенными ролями участников. То есть деловые игры имитируют ситуации, встречающиеся в реальной жизни. Как правило, они проводятся с применением ЭВМ.

Теперь перейдем к поисковому прогнозу, который фактически решает задачу прогнозирования и отвечает на вопрос: «Что вероятнее всего произойдет при условии сохранения существующих тенденций?». Для реализации поискового подхода часто используются различные статистические методы. В качестве примера рассмотрим схему прогнозирования по общей трендовой модели с использованием непротиворечивых экспертных оценок [10.18].

Пусть прогнозирование процесса на период упреждения $t = \overline{1, m}$ представлено в виде последовательности результатов наблюдений:

$$\tilde{y}_t, \quad t = \overline{1, m}, \quad (10.1)$$

а множество непротиворечивых экспертных оценок:

$$\{w^l, \quad l = \overline{1, L}\} \quad (10.2)$$

представимы конъюнкцией:

$$\bigwedge_{l \in L} w^l.$$

Вообще w^l может быть сложным высказыванием, состоящим нескольких элементарных высказываний. В частном случае w^l может быть одним высказыванием типа:

$$\alpha^l + \beta^l y_\mu^l \geq \gamma^l + \delta^l y_\nu^l, \quad l = \overline{1, L} \quad (10.3)$$

где μ и ν – моменты периода упреждения, а $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – оценки, задаваемые экспертами. Ниже рассматривается этот простой случай.

При прогнозировании ключевым вопросом всегда является выбор класса модели. Этот выбор зависит от субъективных предпочтений эксперта и может оказать серьезное влияние на результат прогнозирования.

Пусть выбран класс моделей с линейными по параметрам зависимостями:

$$F(t, \theta) = (\theta, \varphi(t)), \quad (10.4)$$

определенными в дискретные моменты времени $t = \overline{1, m}$, где θ – вектор параметров $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$, а φ – векторная функция $\varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_k)$, компонентами которой являются известные векторные функции времени, а $(\theta, \varphi(t)) = \sum_{i=1}^K \theta_i \varphi_i(t)$ – скалярное произведение.

Зависимость (10.4) называется функцией (моделью) тренда.

Задача заключается в отыскании прогнозной последовательности, наиболее согласованной с результатами наблюдений (10.1) и экспертными оценками (10.2).

Ввиду того, что продолжительность периода наблюдений недостаточна для получения надежных статистических выводов, и/или процесс может отклониться от стационарного режима, при оценивании параметров модели часто требуют ее соответствия экспертным оценкам, а уже затем – результатам наблюдений. То есть этот метод прогнозирования использует субъективные предпочтения экспертов.

Соответствие модели (10.4) экспертным оценкам (10.2) означает, что:

$$y_t = (\theta, \varphi(t)), \quad t = \overline{m+1, m+n}$$

и, следовательно, должны выполняться линейные неравенства (10.3).

Соответствие модели (10.4) результатам наблюдения (10.1) определяется тем, насколько вычисленные по модели значения временного ряда близки к наблюдаемым. В качестве меры близости может быть взята сумма:

$$D(\theta) = \sum_{t=1}^m R(\tilde{y}_t - (\theta, \varphi(t))), \quad (10.5)$$

где R – некоторая строго выпуклая функция (например, квадрат или модуль вещественного числа).

В результате приходим к задаче минимизации:

$$\min_{\theta_i} D(\theta) \quad (10.6)$$

с ограничениями (10.3).

Определение параметров варианта решения можно осуществить на основе решения задачи линейного программирования. Используя известный способ перехода от задачи минимизации суммы модулей к задаче линейного программирования, сведем к последней задачу (10.3), (10.5), (10.6), выбрав из соотношения (10.5) в качестве функции R модуль вещественного числа:

$$D(\theta) = \sum_{t=1}^m |\tilde{y}_t - (\theta, \varphi(t))| \quad (10.7)$$

с этой целью введем вспомогательные переменные:

$$r_t = \begin{cases} \tilde{y}_t - (\theta, \varphi(t)), & \tilde{y}_t > (\theta, \varphi(t)), \\ 0 & \tilde{y}_t \leq (\theta, \varphi(t)) \end{cases}$$

$$S_t = \begin{cases} (\theta, \varphi(t)) - \tilde{y}_t, & (\theta, \varphi(t)) > \tilde{y}_t, \\ 0 & (\theta, \varphi(t)) \leq \tilde{y}_t \end{cases}$$

$$t = 1, \overline{m}.$$

Ясно, что $|\tilde{y}_t - (\theta, \varphi(t))| = r_t + S_t$ и $\tilde{y}_t - (\theta, \varphi(t)) = r_t - S_t$.

Поэтому вместо задачи (10.6), (10.7) и (10.3) переходим к задаче минимизации линейной формы:

$$\min_{\theta_i, r_i, S_i} \sum_{t=1}^m (r_t + S_t)$$

при ограничениях (10.3) и дополнительных условиях:

$$(\theta, \varphi(t)) + r_t - S_t = \tilde{y}_t, \quad t = 1, \overline{m},$$

$$r_t S_t \geq 0, \quad t = 1, \overline{m}.$$

Решая задачу, находим вектор оценок параметров $\hat{\theta} = (\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_k)$, а затем прогнозную последовательность:

$$\hat{y}_t = (\hat{\theta}, \varphi(t)), \quad t = \overline{m+1}, \overline{m+n}.$$

Так как система неравенств (10.3) в случае непротиворечивости экспертных оценок совместна, задача минимизации имеет решение, и это решение единственно в силу строгой выпуклости функции R и, следовательно, функции D .

ЛИТЕРАТУРА

Глава 1

1.1. Малиницкий Г.Г. Сценарии, стратегические риски, информационные технологии // Информационные технологии и вычислительные системы. 2002. №4. Стр. 83-108.

1.2. Ансофф И. Стратегическое управление. М. Экономика. 1989.

1.3. Вейцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Academia. 1997.

1.4. Егоров В.А., Каллистов Ю.Ш., Митрофанов В.П., Пионтовский А.А. Математические модели глобального развития. Л. Гидрометеоздат. 1980.

1.5. Трахтенгерц Э.А. Эволюция компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений // Информационные технологии. 2006. №1. Приложение.

1.6. Прангишвили И.В. Системный подход и общественные закономерности. М. СИНТЕГ. 2000.

1.7. Черняк Л. Открытые системы и проблемы сложности // Открытые системы. №8, 2004. Стр. 60-64.

1.8. Трахтенгерц Э.А. Возможности и реализация компьютерных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и способы управления. 2001. №3. С. 86-113.

1.9. Трахтенгерц Э.А., Иванилов Е.Л., Юркевич Е.В. Современные компьютерные технологии управления информационно-аналитической деятельностью. М. СИНТЕГ. 2007.

1.10. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник. В 4 т. Т 3. Надежность систем газо- и нефтеснабжения. Кн. 1, 2. Под ред. М.Г. Сухарева // М.: Недра. 1994.

1.11. Шагиев Р.Р. Интегрированные нефтегазовые компании. Под редакцией ак. Аганбегяна А.А. // М.: Наука, 1996. – 304с.

1.12. Алекперов В.Ю. Вертикально интегрированные нефтяные компании России // М.: Аутоплан, 1996. – 293с.

1.13. Андреев А.Ф. Оценка эффективности и планирование проектных решений в нефтегазовой промышленности // М. Нефть и газ. 1997. - 276с.

1.14. Степин Ю.П. Методы и модели автоматизации управления обслуживанием нефтегазовых технологических процессов и производств (на примере промысловых геофизических и ремонтных работ в добыче и транспорте нефти и газа). Докт. диссерт. М. ГАНГ им. И.М. Губкина, 1998. 359с.

1.15. Васильев Ю.Н. Автоматизированная система управления разработкой газовых месторождений // М.: Недра, 1987. 143с.

1.16. Перегудов Ф.И., Тарасов Ф.П. Введение в системный анализ // М.: Высшая. школа, 1989. – 367с.

1.17. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности // М.: СИНТЕГ, 2005, с. 582.

1.18. Шишкин О.П. Автоматизированные системы управления предприятиями нефтяной промышленности // М.: Недра. 1981. 159с.

Глава 2

2.1. Ивашкина О.О., Карибский А.В., Шишорин Ю.Р. Моделирование и автоматизация процесса управления экономической безопасности развития естественных монополий. АиТ. 2004. №7. Стр. 82-95.

2.2. Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовский В.Д. Теоретические основы автоматизированного управления. М. Высшая школа. 2006.

2.3. Степин Ю.П. Проектирование автоматизированных систем управления в нефтяной и газовой промышленности. М. МИНХиГП им. И.М. Губкина. 1984.

2.4. Адаптивная АСУ производством (АСУ «Сигма»). Под ред. Г.И. Марчука. М. Статистика. 1981.

2.5. Баронов В.В., Калянов Г.Н., Попов Ю.И. Автоматизация управления предприятием. М. ИНФРА-М. 2000.

2.6. Калянов Г.Н. CASE – технологии: консалтинг в автоматизации бизнес-процессов. М. Горячая линия – Телеком. 2000.

2.7. Краткое описание ERP – систем.
http://www.citforum.ru/seminars/cis99/erp_2.shtml

- 2.8. Отличия MES от ERP. <http://www.mesa.ru/?=1006>
- 2.9. Простаков И.Е. Технологии управления корпоративными знаниями.
http://www.mstu.edu.ru/publish/conf/50ntk/section1/section1_9html
- 2.10. Управление корпоративными знаниями: это уже важно!
<http://www.klerk.ru/boss/?24098>.
- 2.11. Управление корпоративными знаниями.
http://www.olap.ru/k_management.asp.
- 2.12. Никифоров А.Д. Управление качеством. М. Дрофа. 2004.
- 2.13. 10 аргументов против применения стандартов ИСО серии 9000. <http://www.nstda.ru/home.asp?artld=676>

Глава 3

- 3.1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М. СИНТЕГ. 1998.
- 3.2. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. М. СИНТЕГ. 2003.
- 3.3. Трахтенгерц Э.А. Методы генерации, оценки и согласования решений в распределенных системах поддержки принятия решений // *АиТ*, 1995. №4, с.3-52.
- 3.4. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. М. Наука. Физматлит. 1996.
- 3.5. Ириков В.И., Тренев В.Н. Распределенные системы принятия решений. М. Наука. 1999.
- 3.6. Э.А. Трахтенгерц, Ю.П. Степин, А.Ф. Андреев. Компьютерные методы поддержки принятия решений в нефтегазовой промышленности. М. СИНТЕГ. 2005 г.
- 3.7. Э.А. Трахтенгерц, Ю.П. Степин. Методы компьютерной поддержки формирования целей и стратегий в нефтегазовой промышленности. М. СИНТЕГ. 2007 г.
- 3.8. <http://www.quickmba.com/strategy/pest>
- 3.9. Porter М.Е. *Competitive Strategy*. NY. The Free Press. 1980.
- 3.10. Ивашкина О.О., Карибский А.В., Шишорин Ю.Р. Моделирование и автоматизация процесса управления экономической безопасностью развития естественных монополий. *АиТ*. 2004. №7. Стр. 82-95.

- 3.11. Chen S.J., Hwang G.-L. Fuzzy multiple attribute decision making. Spriger-Verlag, Berlin. 1992.
- 3.12. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М. Наука. 1981.
- 3.13. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений. М. СИНТЕГ. 2001.
- 3.14. Щелкачев В.Н. Важнейшие принципы нефтеразработки. 75 лет опыта. М.: Нефть и газ, 2004. 608 с.
- 3.15. Al-Twaijri M.I., Al-Chandi S.V., Luqmani M. Prioritization of corporate goals in Saudi Arabia: an expletory investigation // International Journal of Value - Based Management, 9, 1996. P. 259-270.
- 3.16. National Energy Policy Plan. Department of Energy Organization. Washington. D.C. USA. 1998.
- 3.17. Мулен Э. Корпоративное принятие решений. Аксиомы и модели. М. Мир. 1991.

Глава 4

- 4.1. Кини. Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтение и замещения. М. Радио и связь. 1984.
- 4.2. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений. М. СИНТЕГ. 2001.
- 4.3. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия решений в нефтегазовой промышленности. М. СИНТЕГ. 2005 г.
- 4.4. Turban E. Decision support and expert systems. Maxwell Macmillan. New York. 1990. p. 50.
- 4.5. Ларичев О.И. Некоторые проблемы искусственного интеллекта // Сборник трудов ВНИИСИ. 1990. №10, с.1-9.
- 4.6. Моисеев Н.Н. Предисловие к книге Орловского С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М. Наука. 1981.
- 4.7. Кононов А.А., Косяченко С.А., Кульба В.В. Модели и методы анализа сценариев развития социально-экономических систем в АСУ // АИТ. 1999. №9.
- 4.8. Левин В.И. Интервальная математика и изучение неопределенных систем // Информационные технологии. 1998, №6, с.27-33.

4.9. Gottinger H.W. Intelligent decision support systems. // Decision support systems. 1992, №8, p.317-332.

4.10. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений в САПР. Оценка, согласование и выбор решения // Автоматизация проектирования. 1998, №1, с. 16-26.

4.11. Van Noortwijk J., Cox M., Cooke R.M. Optimal decision that reduce flood damage along the Meuse: an uncertainty analysis. В кн. The practice of Bayesian analysis. S. French, J.Q. Smith ed. London, Arnold, 1997.

4.12. Краснощеков П.С. О чем умолчал Билл Гейтс // Вестник РАН. Т. 68. 1998, №11, с. 980-985.

4.13. Айзерман М.А., Вольский В.М., Литваков Б.М. Элементы теории выбора, псевдокритерии и псевдокритериальный выбор. М. ИПУ. 1994.

4.14. Ambrosini V., Bowman C. Managerial consensus and corporate strategy // European Management Journal. V21. 2003. №2. P. 213-221.

4.15. Харари Ф. Теория графов. М. Мир. 1973.

4.16. Марковский А.В. Анализ структуры знаковых ориентированных графов // Известия академии наук. Теория и системы управления. 1997, №5, с. 144-149.

4.17. Бурков В.Н. Опыт реформирования промышленных предприятий в России // Современные технологии в управлении. М. Фонд «Проблемы управления». 1998. С. 16-26

4.18. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. М. Наука 1997.

4.19. Форрестер Дж. Мировая динамика. М. Наука. 1978.

4.20. French S. The role of synthesizing analysis in decision analysis. In Executive Information Systems and Decision Making. Chapman Hall, London. 1991.

4.21. Walson S.R., Buede D. Decision Synthesis: the Principles and Practice of Decision Analysis Cambridge University Press, Cambridge. 1987.

4.22. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Inf. and Control. 1965, N 8, p. 338-353.

4.23. Munakata T., Jani Y. Fuzzy systems: an overview // Comm. of the ACM. 1994, v. 37, №3, p.69-76.

Глава 5

- 5.1. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М. СИНТЕГ. 2007.
- 5.2. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М. СИНТЕГ. 1998, с. 360.
- 5.3. Трахтенгерц Э.А., Шершаков В.М., Камаев Д.А. Компьютерная поддержка управления ликвидацией последствий радиационного воздействия // М. СИНТЕГ. 2004, с. 456.
- 5.4. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности // М. СИНТЕГ. 2005, с. 582.
- 5.5. Бутаян А.Ю., Камаев Д.А., Трахтенгерц Э.А., Шершаков В.М. Компьютерная система планирования и оперативного управления эвакуацией населения при авариях на химически опасных объектах // М. ИПУ. 2006, с.104
- 5.6. Иванюков Е.Л., Трахтенгерц Э.А., Юркевич Е.В. Методы определения и использования субъективных предпочтений руководителей в компьютерных системах поддержки принятия управленческих решений // Проблемы управления. В книге Ивери Варламовича Прангишвили: Более полувека в науке управления. М. ИПУ. 2007. с. 125-141.
- 5.7. Трахтенгерц Э.А., Григорян А.К. Компьютерная поддержка рационального плана переработки и транспортировки нефти с учетом субъективных предпочтений руководителя // Труды Института проблем управления. 2000. Т. XI. С. 125-142.
- 5.8. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений // М. СИНТЕГ. 2003, с. 272.
- 5.9. Al-Twajjri M.I., Al-Chamdi S.V., Luqmani M. Prioritization of corporate goals in Saudi Arabia: an exploratory investigation // International Journal of Value-Based Management, 9. 1996. P. 259-270.
- 5.10. Ансофф И. Стратегическое управление. М. Экономика. 1989. С. 520.

5.11. Ambrosini V., Bowman C. Managerial consensus and corporate strategy // *European Management Journal*. 2003. V21. №2. P. 213-221.

5.12. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами // *Московский психолого-социальный институт*. М. 2005, с. 583.

5.13. Прангишвили И.В., Пащенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П. Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. / М. Наука. 2001, с. 525.

5.14. Карибский А.В., Шишорин Ю.Р., Юрченко С.С. Финансово-экономический анализ и оценка эффективности инвестиционных проектов и программ. II // *АиТ*. 2003, №8, с. 3 – 25.

5.15. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений // М. СИНТЕГ. 2001, с. 250.

Глава 6

6.1. Форрестер Дж. *Мировая динамика*. М. Наука. 1978.

6.2. Вентцель Е.С. *Исследование операций* // М. Сов. Радио. 1972. 551с.

6.3. Шикин Е.В. *От игр к играм. Математическое введение*. // М. УРСС. 2003. 110с.

6.4. Хемди А. Таха. *Введение в исследование операций*. Седьмое издание // М. Дом «Вильямс». 2005. 901с.

6.5. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. *Рефлексивные игры* // М. СИНТЕГ. 2003. 149с.

6.6. Протасов. *Теория игр и исследование операций* // М. Гелиос АРВ. 2003. 368с.

6.7. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. *Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности* // М. СИНТЕГ. 2005, 583с.

6.8. Шишкин О.П. *Автоматизированные системы управления предприятиями нефтяной промышленности* // М., Недра. 1981. 159с.

6.9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. *Теория случайных процессов и ее инженерные приложения* // М. Наука. 1991. 384с.

6.10. Овчаров Л.А. *Прикладные задачи теории массового обслуживания* // М. Машиностроение. 1969. 324с.

6.11. Андреев В.Н., А.Я. Иоффе Эти замечательные цепи // М. Знание, 1987. 191с.

6.12. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение для принятия приближенных решений // М.: Мир, 1976, с. 165.

6.13. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Под ред. Д.А. Поспелова // М.: Наука, 1986, с. 307.

6.14. Хургин Я.И. Проблемы неопределенности в задачах нефти и газа // Москва-Ижевск: РГУ нефти и газа, 2004. 319с.

6.15. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы. Компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода // М.: Физматлит, 2002, с.254.

6.16. Богданис Ф.С. Планирование производства при нечетких исходных данных (на примере нефтеперерабатывающего завода). Автореферат кандидатской диссертации // М.: АЗИНХ, 1986, с. 17.

6.17. Золотухин А.Б., Гудмestad О.Т., Ермаков А.И. и др. Основы разработки шельфовых нефтегазовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике // М.: Нефть и газ, 2000, с. 771.

6.18. Алиев Р.А., Церковский А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации // М.: Энергоиздат, 1991, с. 239.

6.19. Алиев Р.А. Методы интеграции в системах управления производством // М.: Энергоиздат, 1989, с. 264.

6.20. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназарова М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом // М.: Радио и связь, 1990, с. 263.

6.21. Тарасова В.А. Автоматизация прогнозирования и оптимизации капиталовложений в обслуживание технологических объектов нефтегазового производства. Автореферат кандидатской диссертации // М.: РГУ нефти и газа, 2000, с. 24.

6.22. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П. Методы компьютерной поддержки формирования целей и стратегий в нефтегазовой промышленности // М. СИНТЕГ. 2007, 333с.

6.23. Клубков С.В. Методы принятия решений при освоении нефтегазовых объектов на основе нечетко-интервальных вычисле-

ний. Автореферат кандидатской диссертации // М.: МГУ ЭСиИ, 2005, с. 23.

6.24. Кучин Б.Л., Алтунин А.Е. Автоматизированные информационные системы объектов газоснабжения // М. Недра. 1989. 252с.

6.25. Еремин Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики // М.: Наука. 1994. – 462с.

6.26. Степин Ю.П. Методы и модели автоматизации управления обслуживанием нефтегазовых технологических процессов и производств (на примере промысловых геофизических и ремонтных работ в добыче и транспорте нефти и газа). Докт. диссерт. // М. ГАНГ им. И.М. Губкина, 1998. 359с.

6.27. Горбань А.Н., Россиев Д.Д. Нейронные сети на персональном компьютере // Новосибирск. Наука. 1996., 206с.

6.28. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М: СИНТЕГ, 1998. 325с.

6.29. Борисов В.В., Бычков И.А., Дементьев А.В., Соловьев А.П., Федулов А.С. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем // М.: Горячая линия - Телеком., 2002, 154.с.

6.30. Григорьев Л.И., Степанкина О.А. Системы искусственного интеллекта // М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 1998.

6.31. Овчаров Л.А., Степин Ю.П., Есипова Э.Ю. Разработка структуры экспертной системы по выбору геолого-технических мероприятий // НТЖ. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 1995, № 10.

6.32. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы // М. Финансы и статистика. 1996.

Глава 7

7.1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. М. СИНТЕГ. 2003.

7.2. Трахтенгерц Э.А., Шершаков В.М., Камаев Д.М. Компьютерная поддержка управления ликвидацией последствий радиационного воздействия. М. СИНТЕГ. 2004.

7.3. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия решений в нефтегазовой промышленности. М. СИНТЕГ. 2005.

7.4. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М. Высшая школа. 2004.

7.5. Ансофф И. Стратегическое управление. М. Экономика. 1989.

7.6. Вапник В.Н. Восстановление зависимости по эмпирическим данным. М.: Наука. 1979.

7.7. Carvalho В.М., Gau С.Ј., Herman С.Т., Kong Т.У. Algorithms for fuzzy segmentation // Pattern Analysis and Application. 1999. №2, р. 73-81.

7.8. Кульба В.В., Кононов Д.А., Ковалевский С.С. и др. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. М. ИПУ. 2002.

7.9. Дорофенюк А.А., Покровская И.В., Чернявский А.Л. Экспертные методы анализа и совершенствования систем управления // АиТ, 2004, №10, стр. 172-188.

7.10. Van Den Honert R.C. Decisional power in group decision making: a note on allocation of group members weight in the multiplicative ANP and SMART // Group Decision and Negotiation. 2001. №10.

Глава 8

8.1. Backus I.W. The syntax and semantics of the proposed international language of the Zurich ACM - GAMM // Conference ICIP. Paris/ June. 1959.

8.2. Хомский Н.О. О некоторых формальных свойствах грамматик. Кибернетический сборник №5. М. Иностранная литература. 1962.

8.3. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М. СИНТЕГ. 1998.

8.4. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности // М. СИНТЕГ. 2005, с. 582.

8.5. Ансофф И. Стратегическое управление М. Экономика. 1989.

8.6. Виханский. О.С. Стратегическое управление. М. Издательство Московского университета. 1995.

8.7. Трахтенгерц Э.А., Иванюков В.Л., Юркевич Е.В. Современные компьютерные технологии управления: поиск, анализ оценка и представление информации. М. СИНТЕГ. 2007.

8.8. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. №2. С. 5- 201.

8.9. Subramanian D., Greiner R., Pearl J. The relevance of relevance // Artificial Intelligence. 1997. №7.

8.10. Краснощекоев П.С. О чем умолчал Билл Гейтс // Вестник РАН. Т.68. 1998. №11. С. 980-985.

8.11. Трахтенгерц Э.А., Шершаков В.М., Камаев Д.А. Компьютерная поддержка управления ликвидацией последствий радиационного воздействия. М. СИНТЕГ. 2004.

8.12. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. М. СИНТЕГ. 2005.

8.13. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П. Методы компьютерной поддержки формирования целей и стратегий в нефтегазовой промышленности. М.СИНТЕГ. 2007.

Глава 9

9.1. Михайлов В. Как принимать решения. Санкт-Петербург. Химера. 1999.

9.2. Степин Ю.П. Методы и модели автоматизации управления обслуживанием нефтегазовых технологических процессов и производств. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М. ГАНГ им. И.М. Губкина, 1998.

9.3. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М. СИНТЕГ. 2002.

9.4. Еремин Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики. М. Наука. 1994.

9.5. Nash J. The bargaining problem // Econometrica №18. 1950. P. 155-162.

9.6. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М. Наука. 1982.

- 9.7. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М. Наука. 1970.
- 9.8. Нэш Д. Бескоалиционные игры. Матричные игры // М.: Физматгиз. 1961. С. 205-221.
- 9.9. Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в динамических и многоэлементных социально-экономических системах // *АиТ* 1997. №6. С. 3-26.
- 9.10. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений // М. Экономика, 1984, с. 176.
- 9.11. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении // М. Финансы и статистика. 2003. С. 367.
- 9.12. Голубков Е.П. Технология принятия управленческих решений // М. «Дело и Сервис». 2005. С. 544.
- 9.13. Дорофенюк А.А., Покровская И.В., Чернявский А.Л. Экспертные методы анализа и совершенствования систем управления // *АиТ*, 2004, №10, стр. 172-188.
- 9.14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. яз. // Радио и связь. 1993.
- 9.15. Chen S.-J., Hwang C.-L. Fuzzy multiple attribute decision making. Springer-Verlag, Berlin, 1992.

Глава 10

- 10.1 Глущенко В.В., Глущенко И.И. Разработка управленческого решения. Прогнозирование-планирование. Теория планирования экспериментов // г. Железнодорожный. М. обл.: ООО НПЦ «Крылья». 2000.
- 10.2 Саркисян С.А., Голованов Л.В. Прогнозирование развития больших систем // М. Статистика. 1975.
- 10.3 Араб-Оглы Э.А., Бестужев-Лада И.В., Гаврилов О.А., и др. Рабочая книга по прогнозированию // М.: Мысль. 1982.
- 10.4 Айвазян А.С., Бухштатер А.М., Енюков Е.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности // М. Финансы и статистика. 1989.
- 10.5 Беленький А.Г., Федосеева И.Н. Прогнозирование состояния динамических сложных систем в условиях неопределенности // М. ВЦ РАН. 1999.

- 10.6 Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети // М.: Физматлит. 2001.
- 10.7 Эртли-Каякоб П. Экономическая кибернетика // М.: Экономика. 1983.
- 10.8 Дудорин В.И., Алексеев Ю.Н. Системный анализ экономики на ЭВМ // М.: Финансы и статистика. 1986.
- 10.9 Новиков К. Диаграмма Исикавы. [http: www.ou-link.ru/654/bulletin_654_13/diagr.htm](http://www.ou-link.ru/654/bulletin_654_13/diagr.htm)
- 10.10 Калянов Г.Н. CASE – технологии: консалтинг и автоматизация бизнес процессов // М.: Горячая линия – Телеком. 2000.
- 10.11 Вентцель Е.С. Исследование операций // М.: Сов. Радио. 1972.
- 10.12 Таха Х. Введение в исследование операций. Т.2. // М.: Мир. 1985.
- 10.13 Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тырышкин А.Н. Аналитические методы исследования систем // М.: Сов. Радио. 1974.
- 10.14 Степин Ю.П. Об одном подходе к моделированию и оптимизации функционирования нефтегазовых производственных систем. // Известия вузов. «Нефть и газ». – 1998, № 2.
- 10.15 Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении // М.: Финансы и статистика. 2003.
- 10.16 Арнольд В.И. Теория катастроф // М.: Наука. 1990.
- 10.17 Кучин Б.Л., Якушева Е.В. Управление развитием экономических систем технический прогресс, устойчивость // М.: Экономика. 1990.
- 10.18 Головенко В.Б. Прогнозирование временных рядов по разнородной информации // Новосибирск. 1999.

Глава 11

- 11.1. Трахтенгерц Э.А., Шершаков В.М., Камаев Д.А. Компьютерная поддержка управления ликвидацией последствий радиационного воздействия. М. СИНТЕГ. 2004.
- 11.2. Леунг П. Разделение на торговые зоны в нечетких условиях. В книге «Нечеткие множества и теория возможностей». М. Радио и связь. 1986. Стр. 319-339.

- 11.3. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений М.СИНТЕГ. 2001.
- 11.4. Ausloos M., Ivanova K. Mechanistic approach to generalized technical analysis of share prices and stock market indices// The European Physical Journal B. V. 27, 2002. P. 177-187.
- 11.5. <http://www.quickmba.com/strategy/pest>
- 11.6. Виханский О.С. Стратегическое управление. М. МГУ. 1995.
- 11.7. Porter M.E. Competitive Strategy. NY. The Free Press. 1980.
- 11.8. Королева А.И. Стратегическое управление инновационной деятельностью в вертикально интегрированных нефтяных компаниях: http://www.new_economic.com/1_k_01.html, 2006.
- 11.9. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. М.: СИНТЕГ. 2005. 217 С.
- 11.10. Зубарева В.Д. Финансово-экономический анализ проектных решений в нефтегазовой промышленности. М.: Нефть и газ 2000. стр. 366.
- 11.11. Хел Р.В. Микроэкономика. М. Юнити. 1997.
- 11.12. Кузнецов А.А., Черных М.В. Новый подход к решению задачи планирования производственной деятельности организаций //Проблемы управления. №1, 2006, стр. 66-76.
- 11.13. Альсевич В.В. Введение в математическую экономику. М. УРСС. 2004.

Глава 12

- 12.1. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. М.: СИНТЕГ, 2004, стр. 289.
- 12.2. Миловидов К.Н., Комзолов А.А. Сравнительный анализ экономической эффективности проектов // Экономика и управление в нефтяной и газовой промышленности 1994. № 8, стр. 16.
- 12.3. Ермилов О.М., Миловидов К.Н., Чугунов Л.С., Ремизов В.В. Стратегия развития нефтегазовых компаний. – М.: Наука, 1998. Стр. 624.

12.4. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П. Методы компьютерной поддержки формирования целей и стратегий в нефтегазовой промышленности. М. СИНТЕГ. 2007.

12.5. Brams S.J. Fallback bargaining // Group decision and negotiation. 2001. N. 10, p. 297-316.

12.6. INSPIRE//<http://interneg.carleton.ca>

12.7. Трахтенгерц Э.А. Анализ ведения деловых переговоров с помощью компьютерных систем поддержки принятия групповых решений. Известия РАН. Теория и системы управления. 2002. №6, стр. 98-123.

12.8. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Методы компьютерной поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности. М.: СИНТЕГ, 2005, стр. 579.

12.9. London Classification

<http://enegotiations.wuwien.ac.at/classification.html>

12.10. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. М. СИНТЕГ. 2003.

12.11. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Известия АН. Теория и системы управления. 2001, №2, с.5-201.

12.12. Subramanian D., Greiner R., Pearl J. The relevance of relevance // Artificial Intelligence. 1997. №7.

12.13. Краснощеков П.С. О чем умолчал Билл Гейтс // Вестник РАН. Т.68, №11, 1998, с.980-985.

12.14. Anbarci N. Simple characterizations of the Nash and Kalai / Smorodinsky solutions// Theory Decisions. 1998. V. 45.

12.15. Nash J. The bargaining problem. Econometrica. 1950. V. 18.

12.16. Протасов И.Д. Теория игр и исследование операций. М.: Гелиос АРВ, 2003, стр.. 368.

12.17. Шикин Е.В. От игр к играм. Математическое введение. М.: УРСС, 2003, стр. 113.

12.18. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М. Финансы и статистика. 2000.

12.19. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.СИНТЕГ. 1998.

12.20. Shershakov V.M., Trakhtengerts E.A. Decision making in emergency as computer analysis with dynamically changeable rules //

Fourth International Workshop. Decision making support for offsite emergency management. AR Sweden. Oct. 7-11, 1996.

12.21. Адельсон-Вельский Г.М., Арлазаров В.П., Донской М.В. Программирование игр. М. Наука. 1978.

12.22. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М. Радио и связь. 1982.

12.23. Normi H. Resolving group choice paradoxes using probabilistic and fuzzy concepts// Group Decision and Negotiation. 2001. №1.

12.24. Meerts P. Negotiation in the European Union: comparing perceptions of EU negotiators in small member states// Group Decision and Negotiation. 1997. V. 6.

12.25. Вольский В.И., Лезина З.М. Голосование в малых группах. М. Наука. 1991.

12.26. Meerts P. Negotiation in the European Union: comparing perception of EU negotiations in small member states // Group Decision and Negotiation. 1997. V. 6.

12.27. Алексеров Ф.Т., Благовещенский Н.Ю., Сатаров Т.А. и др. Оценка влияния групп и фракций в Российском парламенте // <http://www.ipu.ru/rcpp/publ.htm>