

**Э.А. ТРАХТЕНГЕРЦ**

**СУБЪЕКТИВНОСТЬ  
В КОМПЬЮТЕРНОЙ  
ПОДДЕРЖКЕ  
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ  
РЕШЕНИЙ**

Москва - 2001

## Оглавление

	Стр.
<i>Введение</i> .....	5
<b>ГЛАВА 1. РОЛЬ СУБЪЕКТИВНЫХ ОЦЕНОК В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b> .....	7
1.1 <i>Неопределенность ситуации, субъективность оценок и индивидуальность руководителя</i> .....	7
1.2 <i>Неопределенность и субъективность в выборе средств достижения цели</i> .....	9
1.3 <i>Неопределенность и субъективность в математических моделях, используемых при поддержке управленческих решений</i> .....	13
1.4 <i>Субъективность в выборе и оценке критериев</i> .....	27
1.5 <i>Субъективность в выборе модели</i> .....	32
1.6 <i>Информационные технологии и субъективные оценки</i> .....	32
<b>ГЛАВА 2. АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПРЕДПОЧТЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ</b> .....	36
2.1 <i>Задачи компьютерных систем поддержки управленческих решений</i> .....	36
2.2 <i>Структурные средства учета предпочтений руководителя в многоагентной системе поддержки управленческих решений</i> .....	39
2.3 <i>Функции агентов и субъективные предпочтения руководителей</i> .....	46
<b>ГЛАВА 3. СУБЪЕКТИВНОСТЬ В АНАЛИЗЕ СЛОЖИВШЕЙСЯ ОБСТАНОВКИ</b> .....	51
3.1 <i>Оценка обстановки методами интеллектуального анализа данных</i> .....	51
3.2 <i>Отображение субъективных представлений в методах интеллектуального анализа данных</i> .....	54
<i>А. Генетические алгоритмы</i> .....	55
<i>В. Нейронные сети</i> .....	58
<i>С. Кластеризация</i> .....	62
<i>Д. Статистический анализ данных</i> .....	65
<i>Е. Нечеткая логика - интерфейс субъективных оценок</i> .....	68
3.3 <i>Влияние субъективности на результаты интеллектуального анализа данных в прикладных задачах</i> .....	72
<i>А. Экономические задачи</i> .....	73
<i>В. Технические задачи</i> .....	85
<i>С. Политологические задачи</i> .....	88
3.4 <i>Влияние субъективности в задачах многокритериального ранжирования</i> .....	94
<i>А. Некоторые определения</i> .....	94
<i>В. Ранжирование по количеству элементов в множествах нижнего и верхнего контуров</i> .....	96
<i>С. Ранжировка по турнирной матрице</i> .....	97
<i>Д. Ранжировка по правилу Борда</i> .....	98
<i>Е. Сравнение результатов</i> .....	99
<b>ГЛАВА 4. СУБЪЕКТИВНОСТЬ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ СОЗДАНИЯ И РЕОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ (ФИРМЫ)</b> .....	101

<b>4.1 Характер реорганизации предприятия</b> .....	101
<b>4.2 Субъективность в компьютерной поддержке плана создания сети предприятий обслуживания</b> .....	104
<b>А. Определение характеристик одной АЗС в удаленной точке</b> .....	105
<b>В. Определение состава и характеристик сети АЗС в населенном пункте или районе</b> .....	112
<b>4.3 Субъективность в компьютерной поддержке плана реинжиниринга</b> .....	115
<b>А. Принципы реинжиниринга</b> .....	115
<b>В. Формирование цели и требований к проекту</b> .....	118
<b>С. Генерация вариантов проектных решений</b> .....	119
<b>Д. Оценка вариантов решений на реинжиниринг предприятия</b> .....	122
<b>4.4 Субъективность в компьютерной поддержке плана эволюционного усовершенствования производства (фирмы)</b> .....	127
<b>А. Принципы эволюционного преобразования производства (фирмы)</b> .....	127
<b>В. Анализ состояния производства</b> .....	129
<b>С. Критериальные оценки принципов эволюционного преобразования производства (фирмы)</b> .....	131
<b>Д. Генерация, оценка и выбор вариантов сценариев эволюционного усовершенствования производства (фирмы)</b> .....	133
<b>ГЛАВА 5. СУБЪЕКТИВНОСТЬ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	138
<b>5.1 Оперативное управление</b> .....	138
<b>5.2 Субъективность в оперативном управлении процессом переработки и транспортировки нефти</b> .....	138
<b>А. Формирование субъективных оценок руководителя с помощью системы поддержки принятия решений</b> .....	138
<b>В. Оперативное управление работой группы НПЗ, в которые нефть поступает из одного источника</b> .....	146
<b>С. Оперативное управление работой группы НПЗ, в которые нефть поступает из нескольких источников</b> .....	150
<b>Д. Оперативное управление работой группы НПЗ при поступлении нефти из нескольких источников с учетом доставки продуктов нефтепереработки на нефтебазы</b> .....	154
<b>5.3 Субъективность в оперативном управлении поставками в системах промышленной логистики</b> .....	157
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	161
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	162

Мы часто слышим, что формальный анализ не подходит для сложных проблем принятия решений, поскольку для них требуются субъективные оценки. Они действительно требуются, но формальный анализ готов принять такие субъективные оценки в качестве входных данных для алгоритма решения.

*Р.Л. Кини, Х.Райфа*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вычислительная техника дала в руки ученых, специалистов и руководителей всех рангов качественно новый инструмент, позволивший резко увеличить интеллектуальные возможности человека. Внедрение вычислительной техники в науку идет относительно легко, не вызывая серьезных психологических сложностей. Довольно быстро произошло внедрение компьютерных методов в управление техническими объектами и в системы учета различного назначения (банковские, бухгалтерские и др.).

Казалось, еще одно усилие и с помощью вычислительной техники можно будет принимать всегда только «правильные» решения. Однако, несмотря на то, что термин «системы поддержки принятия решений» появился еще в 70-е годы, и на развитие методов принятия решений в экономике, политике и технике были направлены большие усилия, внедрение компьютерных систем поддержки принятия решений в этих областях происходит с большим трудом.

Анализ причин возникших трудностей позволил сформулировать, по крайней мере, два требования (это не значит, что других требований нет), которым должны отвечать системы поддержки принятия решений и которым в полной мере не отвечала ни одна из изученных мною систем:

- они должны помогать руководителю на всем протяжении выполнения задачи от анализа ситуации и формулировки цели до выработки исходного сценария и сценариев, реализуемых в динамике выполнения задачи, находя адекватные ответы на противодействия окружающей среды;

- они должны 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 предпочтения, поэтому в предложенных компьютером вариантах решений он должен видеть их тщательный учет, а не «абстрактно оптимальное» предложение, далекое от его интересов.

Пониманию важности и путей реализации первого требования помогла предыдущая работа автора по созданию программного обеспечения АСУ и многопроцессорных комплексов, реализующих алгоритмы управления сложными системами.

Для выполнения этого требования были разработаны или модифицированы применительно к системам поддержки принятия решений алгоритмы и методы генерации вариантов решений, их согласования, отслеживания динамики ситуации и т.д., позволяющие осуществить комплексную поддержку всего процесса выработки решения, его выполнения, и показана возможность реализации рассмотренных алгоритмов на вычислительных комплексах.

Результаты этой работы, которая началась в 1993 году, нашли свое отражение в различных публикациях (около двадцати) и, в конце концов, оформились в книгу «Компьютерная поддержка принятия решений» М. СИНТЕГ. 1998.

Импульсом к пониманию второго требования послужил фронтовой опыт автора, тогда еще юноши, командира батареи, поддерживавшей (это официальный термин) пехотные и танковые части. Тогда его поразило, что в сходных ситуациях приказы, которые он выполнял, отличались друг от друга в зависимости от индивидуальности командиров.

Исследования места и роли субъективных предпочтений и интересов руководителя в выработке решения начались с анализа неопределенности в компьютерных моделях оценки решений и их связи с индивидуальностью менеджеров в выработке сценариев действий. Затем на большом числе примеров была прослежена роль субъективных оценок в анализе обстановки и предложен метод вычисления на графах, с помощью которого можно генерировать все допустимые решения и выбирать лучшее с учетом субъективного предпочтения руководителя. При этом от него требуются только количественные оценки или оценки типа «хорошо», «плохо», «отлично». Результаты этих исследований публиковались в различных работах и обобщены в предлагаемой читателю книге, являющейся продолжением упомянутой выше монографии.

В книге сделана попытка показать на многочисленных примерах из различных приложений место, роль и некоторые пути учета субъективных оценок и предпочтений в компьютерной поддержке анализа обстановки, принятии решений о создании и реорганизации предприятий, а также поддержке оперативного управления. Обсуждены методы, позволяющие настраивать системы поддержки принятия решений на субъективные представления конкретного руководителя о том, что такое хорошо и что такое плохо.

В ней рассматриваются:

- причины, вызывающие необходимость использования субъективных оценок предпочтений руководителя;
- влияние субъективных оценок и предпочтений руководителя на результаты компьютерного анализа ситуации, генерацию и выбор варианта решения (сценария действий);
- методы, позволяющие принять субъективные оценки руководителя в качестве входных данных формального анализа и оценки вариантов решений.

В книге используется различный математический аппарат, описание которого в некоторых случаях начинается с азов, что может существенно облегчить чтение материала специалисту, незнакомому с этим аппаратом.

Хочу выразить искреннюю признательность Н.И. Злобинской за неоценимую помощь в оформлении книги.

## ГЛАВА 1

### РОЛЬ СУБЪЕКТИВНЫХ ОЦЕНОК В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

#### 1.1. Неопределенность ситуации, субъективность оценок и индивидуальность руководителя

Одной из серьезных трудностей, возникающих при практической реализации систем поддержки принятия решений, является проблема неопределенности.

Термин «неопределенность» был предложен F.H. Knight в 1933г. [1.1]. 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 [1.2]:

- задачи, для которых характерна возможность объективной оценки результата решения или хотя бы сравнительной оценки 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 ориентировочные) 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  $W$  [1.3]. 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 [1.4]: 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 [1.4]. 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.

Неопределенность, связанную с невозможностью точного учета реакции окружающей среды на наши действия, можно подразделить на внешнюю, внутреннюю [1.5] и личную [1.6].

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 (методы согласования решений в работе не рассматриваются, их краткое перечисление дано в разделе 2.3).

Явление неопределенности породило понятие «неопределенного» числа, позволяющего характеризовать степень неопределенности. Известно три типа таких чисел: случайные, нечеткие и интервальные [1.7].

Степень неопределенности зависит от [1.8]:

- 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 собственного 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. Эта субъективная оценка оказалась в настоящее время единственно возможной основой объединения разнородных физических параметров решаемой проблемы в единую модель, позволяющую оценивать варианты решений [1.9]. В этой субъективности нет ничего плохого. Опытные руководители и конструктора хорошо осознают, сколько личного и субъективного они вносят в принимаемые решения. 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 [1.9].

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.

## **1.2 Неопределенность и субъективность в выборе средств достижения цели**

Сегодняшняя политическая и экономическая жизнь страны дает яркий пример того как, провозглашая одни и те же цели, различные лидеры предлагают для их достижения самые противоречивые средства и методы. Во многих случаях это значит, что за одними и теми же словами скрывается различное понимание целей и средств их достижения или неопределенность в понимании существа сформулированной задачи.

Решения для достижения цели можно подразделить на:

- неожиданные принципиально новые, новаторские решения, которые пока компьютер реализовывать не в состоянии;
- решения, основанные на типовых сценариях, по аналогии или на основе комбинации известных частных решений; генерация таких решений доступна вычислительной машине [1.10].

Процесс генерации решений достижения цели, основанный на эвристических предпочтениях руководителя, можно подразделить на три последовательных этапа: формирование когнитивной карты, создание экспертной системы, генерация набора сценариев. Каждому этапу может соответствовать своя подсистема генерации решений. При этом надо подчеркнуть, что необязательно использовать три подсистемы, более того каждая из этих подсистем может функционировать самостоятельно.



Формирование когнитивной карты. На этом этапе определяются основные факторы, влияющие на решение проблемы, и выясняются субъективные представления об их причинно-следственных связях. Вычислительная система 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 [1.11].

Когнитивной картой психологи называют мысленное представление среды, исследуемой ситуации на том или ином уровне абстракции, которое можно «разглядывать», описывать, переносить на бумагу или представить в виде знаний.

Формирование когнитивной карты может стать также и исходными данными для последующих этапов генерации решения.

Создание экспертной системы. После того как на основе когнитивного анализа выработаны предложения или приняты решения о выполнении определенного набора действий (операций), в базу знаний экспертной системы (или нескольких экспертных систем) записываются условия, определенные руководителем или экспертом, при которых могут быть выполнены те или иные действия из этого набора и детали их выполнения в соответствии с создавшимися условиями. На основе этой информации, записанной в базе знаний, экспертная система в соответствии с конкретной обстановкой и введенными в нее оценками руководителя, генерирует решение о порядке выполнения операций (действий) [1.12].

Заметим, что экспертная система может быть создана и без этапа предварительного когнитивного анализа, хотя, как правило, в явном или неявном виде, он выполняется.

Генерация набора сценариев. На основе набора операций, полученного в результате когнитивного анализа, сформированных в экспертной системе или хранящихся в базе данных формируются возможные сценарии комбинации выполнения таких операций (действий). Если такой набор не предусматривался заранее, он может быть создан экспертом или руководителем. Во всех случаях руководитель или эксперт должен указать возможные, по его мнению, связи операций, а также отметить операции, которые могут выполняться параллельно (одновременно). Эта информация может храниться в базе данных вместе со списком операций. Сценарии могут различаться не только последовательностью действий, но и составом.

Возможные сценарии могут генерироваться различными методами, например: методом порождающей грамматики [1.10] и эквивалентным ему методом, основанном на теории графов (пример рассмотрен в разделе 3.С) или методом, основанном на генетических алгоритмах [1.13, 1.14] (пример рассмотрен в разделе 3.А и 4.Д).

Подсистема генерации сценариев может породить все возможные (или очень многие) варианты решений (сценарии действий). Примеры генерации вариантов различными способами достижения цели показаны на рис. 3.14, 3.15 и 4.5 – 4.7. Руководитель должен выбрать один из них.

Если оценивать неопределенность количеством возможных вариантов, то она может быть очень велика, следовательно, велика и субъективность в выборе варианта решения (сценария действия). Представлять несколько десятков вариантов решений руководителю бессмысленно – он все равно такое количество вариантов оценить и проранжировать не сможет. Снижение неопределенности, вызванной большим числом вариантов решений, может быть достигнута за счет оценки вычислительной системой каждого варианта решения с учетом предпочтений руководителя и их ранжирования.

Конкретные примеры генерации вариантов решений (сценарии действий) вычислительными системами и методами их оценки и ранжирования с учетом субъективных предпочтений руководителей будут рассмотрены в главах 4 и 5.

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.

Поясним это простым примером [1.15]. 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. 1.1-а, б, с показано время, затраченное бегунами на дистанции. В первой строке указаны время 1-го бегуна, 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. 1.1-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. 1.1-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. 1.1-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 1.1-а

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

Таблица 1.1-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 1.1-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 масте-

ров спорта). Эта очень широкая и очень важная проблема. С ней встречаются ежедневно. Оценивая ученика, преподаватель должен определить, принадлежит 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) [1.8, 1.18, 1.19]. О них еще будет сказано ниже.

Теперь вернемся к генерации вариантов решения и выбору средств достижения цели. Пусть на основании значений коэффициента достоверности заключений [1.16, 1.17] 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 (например, за последние три месяца) «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. 1.2-б), «исполнитель» до одного знака (табл. 1.2-а). Выбранным считался комплекс ГИС, имеющий наибольшее среднее значение коэффициента достоверности, то есть занявший при ранжировании первое место. Из таблиц 1.2-а и 1.2-б 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 предыдущих результат (табл. 1.2-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 назначении комплекса ГИС в рассматриваемой группе скважин.

Таблица 1.2-а  
«Исполнитель»

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 1.2-б  
«Заказчик»

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 1.2-с  
«Заказчик–Исполнитель»

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. 1.3-а и 1.3-б являются примерами, показывающими разброс величин оценок, связанными не с точностью, а с неопределенностью исходных данных и методами оценок. Так в исследовании [1.20] 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. 1.3-а [1.20]. В

данном случае степень неопределенности выражается разницей между максимальными и минимальными потерями.

Таблица 1.3-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. 1.3-б представлены экономическая и технологическая эффективности различных методов воздействия на пласт с целью повышения его нефтеотдачи [1.16].

Таблица 1.3-б

Метод воздействия	Себестоимость 1м <sup>3</sup> доп. доб. нефти, долл. США	Уд. кап. затраты, тыс. долл. США (м/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 <sub>2</sub>	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. 1.3-а и 1.3-б не ранжируют стратегии, а иллюстрируют разброс оценок. Выбор стратегии из табл. 1.3-а или метода из табл. 1.3-б в условиях неопределенности основан на субъективных предпочтениях руководителя.

### 1.3 Неопределенность и субъективность в математических моделях, используемых при поддержке управленческих решений

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 [1.21].

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 [1.22]. 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.

**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. В [1.23, 1.24] субъективная вероятность рассматривается как явно выраженный склад ума, явно выраженное отношение к событию, которое при известном самоанализе может быть определено количественно. В [1.25] считается, что субъективная вероятность может быть определена только в результате действий наблюдателя. Оба подхода нормативные, они предписывают определенные правила, в соответствии с которыми, наблюдатель должен оценивать рассматриваемые объекты и явления.

Субъективные вероятности оценки рассмотрим на двух подходах: субъективной ожидаемой полезности [1.26, 1.27] и Байесовской парадигмы [1.28].

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:

$$(1.1) \quad U(a_i) = \sum_j P(q_j)U(c_{ij}), \quad i = 1, \dots, n.$$

Последствия выбора альтернативы  $a_i$ , если состояние  $q_j$  представлено в (1.1), 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 (1.1) – 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 (1.1) 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).

Теперь, продолжая идеологию субъективной вероятности, перейдем к Байесовской парадигме. Ее суть заключается в следующем [1.28]. Руководитель должен выбрать одно действие  $a \in A$  из множества  $A$  возможных действий. Последствие этого решения  $c(a, W) \in C$ , принадлежащее к множеству последствий, зависит от действия  $a$  и состояния окружающей среды  $w \in W$ . Перед выбором действия руководитель может наблюдать результат  $X = x$  эксперимента, зависящий от неизвестного состояния  $w$ .  $X$  рассматривается не как постоянная, а как случайная величина с распределением  $P_x(x|w)$ , определяющая априорное (до эксперимента) представление руководителя о величине  $X$  при условии, что истинное значение  $W$  есть  $w$ .

Цель руководителя можно представить в виде функции потерь:

$$(1.2) \quad l(a, w) = -u[c(a, w)],$$

являющейся мерой потерь или "отрицательной полезности" последствий  $c(a, w)$  решения, принятого руководителем.

Статистическое решение задачи заключается в наблюдении  $X = x$  и затем выбора действия  $d(x) = a$ , которое на основании наблюдения значения  $X$  в определенном смысле минимизирует величину  $l(d(x), w)$ .

Байесовское решение определяется априорным знанием руководителя о  $w \in W$ , выраженное посредством субъективных вероятностей через априорное распределение  $P_w(\bullet)$ . Знание руководителя обновляется посредством наблюдений  $X = x$ , с использованием теоремы Байеса для получения апостериорного распределения  $P_w(\bullet/w)$ .

$$(1.3) \quad P_w(w|x) \propto P_x(x|w)P_w(w).$$

Другими словами апостериорное распределение в представлении руководителя пропорционально субъективной оценке, сделанной руководителем, вероятности  $P_w(x/w)$ , умноженной на ее распределение. Вероятность  $P_w(x/w)$  рассматривается как функция от  $w$  при фиксированном  $X = x$ , значение которого определено в результате наблюдения. Константа пропорциональности может быть найдена, исходя из предположения, что значения апостериорного распределения относительно  $w$  в сумме должны быть равны единице.

Минимизируя апостериорное ожидание потерь, руководитель должен выбрать действие  $d(x) = a$ , такое, что:

$$(1.4) \quad d(x) = \arg_a \min \{E_w[l(a, w)]\}.$$

Соотношения (1.1) - (1.4) описывают модель субъективной ожидаемой полезности (subjective expected utility – SEU).

Байесовский подход, правда, в значительно более усложненном виде, использовался и используется для оценки надежности работы атомных реакторов, в клинической медицине, для оценки потребления различных сортов пива, для управления водными ресурсами и т.д., то есть в большинстве случаев там, где имелась определенная статистическая информация. О’Hagen, один из специалистов по Байесовскому анализу, пишет [1.29]: «Если имеется достаточный объем надежной предварительной информации или комплексная структура данных, которые могут быть обработаны только Байесовскими численными методами, тогда результаты легко перевесят затраты на исследование и можно смело рекомендовать Байесовский анализ. Если, с другой стороны, имеется только слабая предварительная информация, тогда нет смысла слишком громко бить в Байесовские барабаны». Таким образом, определяются области и задачи, в которых целесообразно применять субъективные вероятностные методы (конечно, совсем не только перечисленные выше). Проиллюстрируем это на примере оценки рынка зерновых хлопьев [1.30].

Пусть имеется перекрывающийся рынок нескольких сортов зерновых хлопьев и необходимо промоделировать рынок продаж  $m$  сортов. Они продаются на  $n$  локальных рынках и покупателей классифицируют по  $n$  типам, обозначенных  $T(1), \dots, T(n)$ . Покупатель  $T(i)$  покупает только на рынке  $i$ . Таким образом, покупатели классифицируются в соответствии с их поведением (практически, с выбором рынка). Модель продаж различных сортов зерновых хлопьев описывается соотношением [1.30]:

$$(1.5) \quad P(y|\Psi, N) = \frac{N!}{\prod_{j=1}^m y_j!} \prod_{j=1}^m \Psi_j^{y_j},$$

где  $N = \sum_{j=1}^m y_j$ ,  $\Psi_j$  – вероятность покупки сорта  $j$ ,  $y_j$  – объем предыдущих закупок  $j$ -го сорта.

$$\psi_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot P_i$$

где  $P_{ij}$  – вероятность выбора покупателем  $T(i)$  сорта  $j$ ,  $P_i$  – вероятность появления покупателя типа  $T(i)$ .

В вычислительную систему может быть введена таблица субъективных оценок руководителем вероятности покупки  $j$ -го сорта зерновых хлопьев покупателем  $i$ -го типа. Примером такой таблицы является табл. 1.4. Конечно, разные руководители (или эксперты) могут поставить различные значения лингвистических переменных в подобных таблицах, а значит, могут получить и разные результаты.

Таблица 1.4

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	высокая	очень высокая	средняя	низкая
2	низкая	средняя	очень низкая	высокая
3	средняя	очень низкая	высокая	средняя

Естественно, табл.1.4 может задаваться в процентах, дробях и т.д. Аналогично в вычислительную систему вводится таблица представления руководителя о вероятности появления покупателя  $i$ -го типа. Эти оценки делаются на основе тщательного изучения рынка, разбитого по типам для нашего примера, это: детский рынок, подростковый, рынки фирм и т.д. Объемы  $u_j$  прошлых продаж известны. На основании данных объемов продаж руководитель делает оценки их субъективной вероятности, по каждому  $i$ -му типу покупателей  $j$ -го сорта зерновых хлопьев вносятся коррективы в табл. 1.4 и производится пересчет функции (1.5).

Таким образом, моделируя перекрывающийся рынок, можно промоделировать продажу каждого из  $m$  сортов зерновых хлопьев каждому из  $n$  типов покупателей. Существуют способы репараметризации таких моделей, позволяющие сократить их размерность, они достаточно сложны и не входят в наше рассмотрение. Отметим еще раз, что для получения хороших результатов в моделях (1.1)-(1.5) надо иметь достаточно представительные данные для суждения руководителя о составляющих этого соотношения.

Функция (1.5) это только первый шаг решения задачи, описанной в [1.30]. Полное решение этой задачи потребовало серьезных разработок, а описание этого решения заняло печатный лист. Вообще решение практических задач методом Байеса, многочисленные примеры которых даны в книге, содержащей и статью [1.30], показывают, что применение этого метода для решения реальных задач экологии, экономики, надежности и т.п. дается не просто, и, как правило, базируется на достаточно надежной статистике.

**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 [1.31], 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 оператор, в то время как при классическом подходе необходимы как аналитическое описание самого процесса (математические, химические и т.п. модели), так и системы управления им [1.32]. В [1.33] в шуточной форме эта особенность метода нечетких множеств выражена двустишием:

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, приближенные, 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 акселераторов 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  $\mu_A(u_i)$ .

Применение нечеткой логики уже сейчас начало находить широкое применение в экспертных системах. Пример экспертной системы оценки повреждений с помощью методов нечеткой логики приведен в разделе 3.3.В.

В качестве примера использования метода нечетких множеств в системах управления рассмотрим алгоритм управления водяными насосами, заложенный в контроллер [1.34].

Управление насосами, в зависимости от уровня воды в колодце и тенденции изменения уровня, осуществляется вычислительной системой по правилам, аналогичным тем, которые показаны в табл. 1.5. Они записаны в памяти вычислительной машины. Например, если уровень воды высокий и вода повышается – сильно увеличить пропускную способность насосов (правило 5-5), если уровень воды немного ниже нормы, а текущее изменение уровня слегка падает – слегка снизить пропускную способность насосов (правило 2-2) и т.д. Насосов девять и каждая лингвистическая переменная определяет число насосов, которые должны быть включены (выключены).

Таблиц с такими правилами несколько. Они составляются, как правило, на основании опыта управления такими системами вручную. Нечеткие понятия «низкий», «немного ниже нормы», «падает» и т.п. должны быть записаны в памяти компьютера в виде функций принадлежности  $\mu_A(u_i)$ .

Таблица 1.5

Текущие изменения уровня		Уровень воды в колодце				
		1	2	3	4	5
		низкий	немного ниже нормы	почти в норме	выше нормы	высокий
1	падает	сильно снизить	снижать	не менять	не менять	не менять
2	слегка падает	снизить	слегка снизить	не менять	не менять	слегка увеличить
3	почти постоянная	не менять	не менять	слегка увеличить	слегка увеличить	увеличить
4	слегка повышается	не менять	слегка увеличить	увеличить	увеличить	увеличить
5	повышается	слегка увеличить	увеличить	увеличить	увеличить	сильно увеличить

Пример такой функции принадлежности, характеризующую пропускную способность насосов и значения лингвистических переменных, характеризующих пропускную способность насосов, показаны на рис. 1.1.

Заметим, что при построении функции принадлежности  $\mu_A(x)$  данному множеству, граница между двумя лексическими переменными определяется достаточно ясно. Это видно из рис. 1.1. Оценки «низкий» и «немного ниже нормы» пересекаются на пропускной способности от 2.5 до 7.5 м<sup>3</sup>/с. Однако при пропускной способности меньше 5 м<sup>3</sup>/с значение функции принадлежности  $\mu_A(x)$  к оценке «низкий» больше, чем к оценке «немного ниже нормы» и наоборот, при пропускной способности больше 5 м<sup>3</sup>/с значение функции принадлежности  $\mu_A(x)$  к оценке «немного ниже нормы» выше, чем к оценке «низкий». В данном случае функция принадлежности определяет границу между

двумя лингвистическими переменными. Такие же рассуждения легко провести и для других лингвистических переменных рис 1.1.

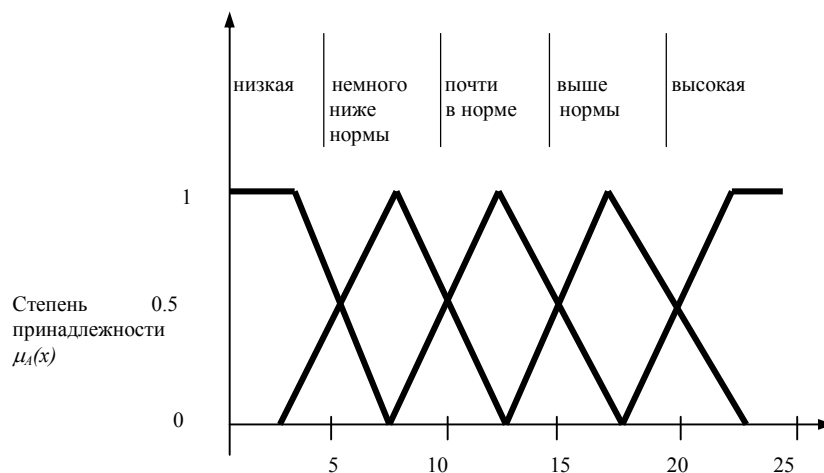


Рис. 1.1

Таким образом, можно сказать, что точность лингвистических или балльных оценок зависит от возможной точности измерения физического параметра и компетенции и опытности руководителя или эксперта. Функцию принадлежности они могут и не строить, но границы физических параметров, соответствующих критериальным оценкам, должны устанавливать. Правильность проведения таких границ, т.е. правильность построения функции принадлежности определяются талантом, опытом и субъективными предпочтениями и оценками руководителя. На табл. 1.6 показан алгоритм действия при изменении количества осадков и пропускной способности насосов. Схема управления насосами показана на рис. 1.2.

Таблица 1.6

Интенсивность осадков		Пропускная способность насосов				
		1	2	3	4	5
		низкая	немного ниже нормы	почти в норме	выше нормы	высокая
1	падает	не менять	не менять	слегка снизить	снизить	сильно снизить
2	слегка падает	слегка снизить	слегка снизить	снизить	сильно снизить	сильно снизить
3	почти постоянная	снизить	слегка снизить	не менять	слегка повысить	повысить
4	слегка повышается	не менять	слегка увеличить	слегка увеличить	увеличить	увеличить
5	повышается	слегка увеличить	увеличить	увеличить	увеличить	сильно увеличить

Из рис. 1.2 видно, что в системе управления есть три датчика: пропускной способности насосов, уровня воды и скорости изменения уровня воды и контроллер, функционирующий по правилам, аналогичным тем, что показаны в табл. 1.5 и 1.6. Полный алгоритм функционирования не приводится из-за громоздкости. Подобные алгоритмы описаны, например, в [1.19 и 1.34].

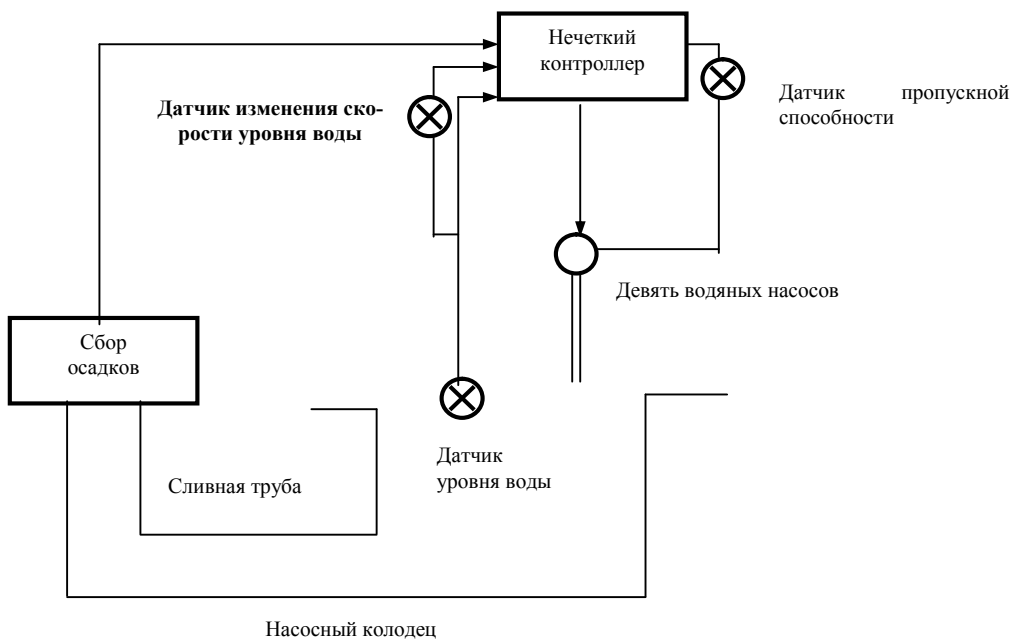


Рис. 1.2

Теперь покажем связь между функцией распределения вероятности, функцией принадлежности множеству и лингвистическими переменными.

Введем понятие нечеткого графика [1.35], показанного на рис. 1.3.

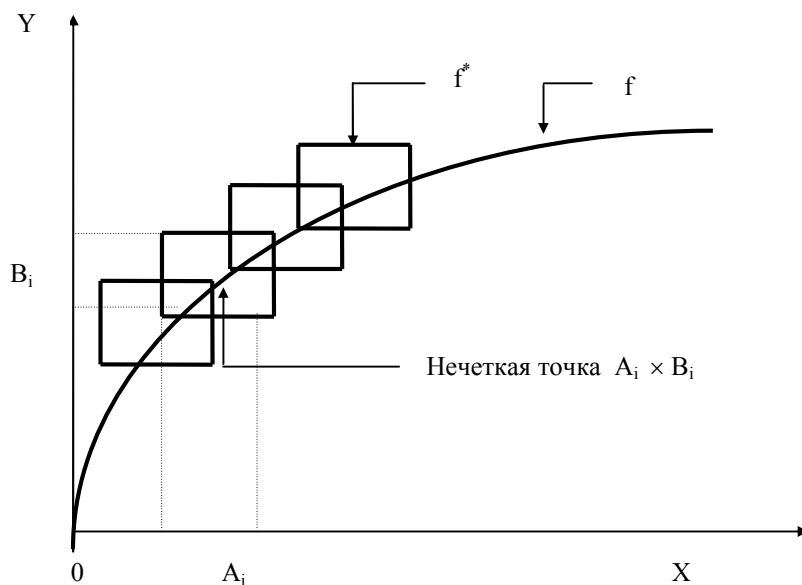


Рис. 1.3

Нечеткий график  $f^*$  отображает функциональную зависимость  $f: X \rightarrow Y$ , где  $X$  и  $Y$  лингвистические переменные в  $U$  и  $V$  соответственно. Он служит для аппроксимации представления графа  $f$  в форме:

$$(1.6) \quad f^* = \sum_{i=1}^n (A_i \times B_i),$$

где  $A_i$  и  $B_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) – непрерывные нечеткие подмножества  $U$  и  $V$  соответственно,  $A_i \times B_i$  – прямое произведение  $A_i$  и  $B_i$  и  $\sum$  – знак объединения пар  $A_i \times B_i$ . В терминах функции принадлежности функция (1.6) имеет вид:

$$\mu_{f^*}(u,v) = V_i(\mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{B_i}(v)),$$

где  $\wedge = \min$ ,  $u \in U$ ,  $v \in V$ ,  $A_i$  и  $B_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) – непрерывные нечеткие подмножества  $U$  и  $V$ .

Используя понятие нечеткого графика, легко показать связь между функциями распределения вероятности и принадлежности к множеству, когда одна и та же функция описывается как в терминах распределения вероятности, так и в терминах принадлежности множеству. Эта связь показана на рис. 1.4 [1.35]. Прямоугольники рис. 1.4 характеризуют нечеткие множества, а кривая – распределение вероятности. Они описывают одну и ту же зависимость. Но и без использования понятия нечеткого графика интуитивно ясно, что эти две функции семантически достаточно близки. Может быть также показана связь функции принадлежности множеству с другими аналитическими функциями. И основание для выбора формы представления во всех случаях кажется очевидным: если известно аналитическое представление функции – надо использовать его, если нет – может быть использована функция принадлежности множеству.

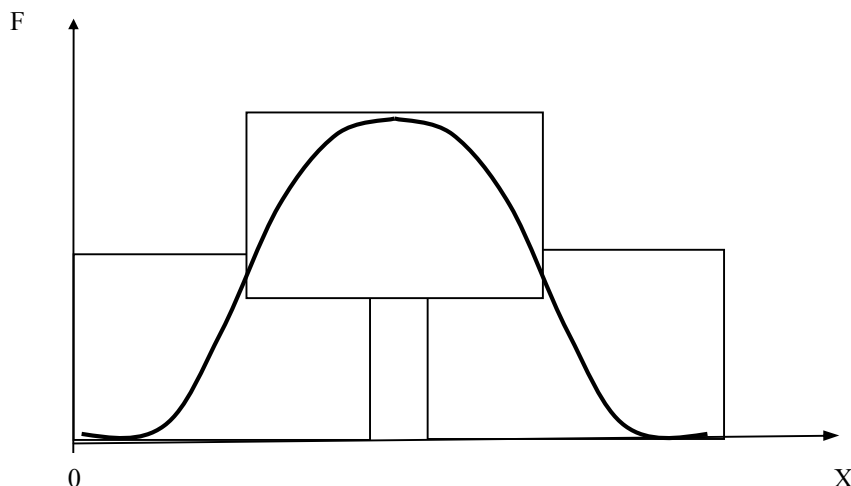


Рис. 1.4

Покажем теперь связь между некоторыми вероятностными понятиями и лингвистическими переменными.

Вероятность события  $B$  при условии, что событие  $A$  произойдет после выполнения события  $B$  можно записать в виде условной вероятности:

$$(1.7) \quad A|_p B \equiv \pi_p(w_A|w_B)$$

Это выражение является вероятностным аналогом детерминистской логической зависимости:

IF B THEN A.

Но (1.7) гораздо богаче по возможности выражения вариантов, потому что указывает степень ожидаемости события  $B$ , определяемая величиной  $p$ . Правая часть выражения  $\pi_p(w_A/w_B)$  определяет численные значения распределения. Оно может быть интерпретировано как распределение вероятности того, что произойдет событие  $A$ , по-

сле того как произошло событие  $B$ . Поясним это на примере предсказания погоды. Оно может быть записано в следующем виде:

$$\begin{aligned} & (\text{WEATHER } x \text{ TOMORROW}) \mid_p (\text{WEATHER } y \text{ TODAY}) \\ & (\text{FORECAST } z \text{ TODAY}) \equiv \pi_p (w (\text{WEATHER } x \text{ TOMORROW}) \mid \\ & w (\text{WEATHER } y \text{ TODAY}) (\text{FORECAST } z \text{ TODAY}), \end{aligned}$$

где  $x, y, z, \in$  (хорошая, обычная, дождливая) – множество альтернатив.

Заметим, что при отсутствии условия  $B$  соотношение (1.7) является безусловным вероятностным распределением. Например,

$$\begin{aligned} \forall \alpha (\text{WEATHER } u \alpha) \mid_p \equiv \pi_p (w (\text{WEATHER } u \alpha)) = \\ \begin{array}{ll} w & p(w) \\ (\text{WEATHER FAIR } \alpha) & 0.3 \\ (\text{WEATHER CLOUDY } \alpha) & 0.2 \\ (\text{WEATHER RAINY } \alpha) & 0.5 \end{array} \end{aligned}$$

Здесь значение  $p(w)$  не является точной десятичной дробью, а скорее завуалированной лингвистической переменной. Можно ведь написать: дождливая погода – вполне может быть, хорошая – может быть, облачно – навряд ли.

**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 [1.9, 1.18, 1.36 - 1.39]. В большинстве случаев они сводятся к линейной или нелинейной свертке, позволяющей поставить в соответствие каждому элементу множества оценивающее его число. Модель оценки с помощью функций предпочтения руководителя является также сверткой.

Через  $\pi$  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. Примеры базовой шкалы даны на рис. 1,1, 3.11, 3.17 и др. Заметим, что на всем интервале базовой шкалы, определяемом логической переменной, значения критериальной оценки считается константой. Тогда на границе таких интервалов значения лингвистических переменных изменяются скачком. Но можно считать, что на интервале базовой шкалы, определяемой лингвистической переменной, ее значения изменяются линейно, и поэтому возможна линейная интерполяция. Тогда в примере рис. 3.17 для лингвистической переменной степень загрязнения воды в водоеме «слабо загрязненная», значение функции предпочтения  $\pi$  может изменяться в пределах  $0.05 \leq \pi < 0.25$  определяемое соотношением

$$(1.8) \quad \pi_i = \left( \frac{X_i^{\text{Тек}} - X_{i,k}^{\min}}{X_{i,k}^{\max} - X_{i,k}^{\min}} \right) + \theta_{ik} \quad \text{или} \quad \pi_i = \theta_{i,k}, \quad i=1, I,$$

где  $X_{i,k}^{\min}$  – нижнее значение параметра для данной лингвистической переменной  $i$ -го параметра (в нашем случае – загрязнение);  $X_{i,k}^{\max}$  – верхнее значение параметра для

данной лингвистической переменной  $i$ -го параметра;  $\theta_{i,k}$  – числовое значение  $k$ -ой лингвистической переменной (балл)  $i$ -го параметра.

В упрощенном варианте  $\pi_i$  можно считать константой по каждому интервалу параметров, определяемых лингвистической переменной, полагая  $\pi_i = \theta_{i,k}$  ( $k = \overline{1, \bar{k}}$ ) для каждого интервала  $i$ -го параметра, соответствующего  $k$ -ой лингвистической переменной.

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. Пример такого пространства дан на рис. 3.12.

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:

$$(1.9) \quad \pi_A = K_1 \pi_{1,A} \oplus K_2 \pi_{2,A} \oplus \dots \oplus K_m \pi_{n,A},$$

где  $K_i$  – оценка степени важности (значимости, «веса»)  $i$ -го критерия,  $\pi_{j,A}$  – критериальная оценка значения  $i$ -го физического параметра варианта решения  $A$ , определяемая руководителем по (1.8),  $\oplus$  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, что при выбросах газа  $CO$  и  $NO_2$  взаимно усиливают токсичные действия в несколько раз. В этом случае общая токсичность (своеобразная функция предпочтения) мультипликативна и является произведением  $\pi_i$  и  $\pi_j$  с соответствующими коэффициентами.

Аналогичны рассуждения для разности и частного  $\pi_i$  и  $\pi_j$  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:

$$(1.9') \quad \pi_A = \overline{K_{1,k}} \pi_{k,A} \oplus K_{2,j} \pi_{2,A} \oplus \dots \oplus K_{m,n} \pi_{n,A},$$

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,  $\pi_{j,A}$  определяется аналогично (1.8).

Соотношение (1.9') 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  $R^m$ , характеризующая данное решение, определяется ее параметрами и принадлежностью к определенному подпространству. Поскольку подпростран-

ство ранжировано, то ранжированы и попавшие в них точки. Таким образом, пространство параметров и пространство критериев оказались связанными (отраженными друг в друге).

Самый простой вид функции предпочтения это свертка типа  $\pi = \sum K_i \pi_i$ , где  $\pi$  – вес  $i$ -го критерия, а  $\pi_i$  определена в (1.8). Поясним функцию (1.9) на примере [1.40].

Пусть требуется выбрать один из десяти модемов на 33,6 кбит/с, представленных на табл. 1.7. Каждый из десяти модемов в табл. 1.7 оценен по шести критериям. (Фактически в работе [1.40] указано больше критериев, но мы ограничимся шестью). Специалист, выбирающий модемы для установки их в корпоративной сети сформулировал для себя следующую функцию предпочтения:

$$(1.10) \quad \pi_j = (K_3\pi_{3,j} + K_5\pi_{5,j}) / K_1\pi_{1,j} + K_6\pi_{6,j} + K_2\pi_{2,j} + K_4\pi_{4,j},$$

где  $j$  – номер фирмы-производителя.

Словами эту функцию можно выразить таким образом:

$\pi_j =$  (оценка производительности + оценка программного обеспечения) / оценку стоимости + оценка гарантийного срока + простота установки + оценка документации

Первая дробь фактически оценивает соотношение производительность / стоимость, так как производительность существенно зависит не только от характеристик аппаратуры, но и от качества программного обеспечения. Остальные составляющие функции (1.10) комментариев не требуют. Для вычисления функции (1.10) по каждому критерию надо определить значения  $\pi_{i,j}$  и  $K_i$ . Значения  $\pi_{i,j}$ , указанные в столбцах 2-5 табл. 1.7 [1.40], являются результатом специального тестирования модемов в испытательной лаборатории, цены и гарантийный срок определяются фирмой-изготовителем, а лингвистические переменные в столбцах 1 и 6 являются субъективными оценками специалиста, выбирающего модемы. Значения  $K_i$  также являются субъективными оценками, должны указываться специалистом, выбирающим модемы, так как для каждой фирмы, корпоративной сети и т.д. они могут быть различны. Специалист, выбирающий модемы, оценил  $K_i$  в баллах, так как показано в табл. 1.8.

Определим значение функции (1.10) для  $j=7$ .

$$\pi_7 = (5 \times 2 + 5 \times 5) \times (4 \times 5) + 4 \times 5 + 2 \times 3 + 3 \times 2 = 732.$$

Так как, чем дешевле модем, тем выше оценка, в расчетной формуле (1.10) представлены их обратные значения, то есть знак деления изменен на умножение.

Посчитав значения функции предпочтения для всех фирм по производительности, то есть  $j=1, \dots, 6, 8, 9, 10$ , специалист может их проранжировать. В тех случаях, когда их значения будут близки, а с учетом ошибки они могут сильно перекрывать друг друга, специалист для более точной оценки может воспользоваться дополнительной содержательной характеристикой, данной для каждой модели модема.

Из сказанного следует, что 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.

Метод функций предпочтения может быть использован при принятии решений в условиях чрезвычайных ситуаций, в системах автоматизации проектирования, в медицинской диагностике, при управлении технологическими процессами, в бизнесе и т.п.

Некоторые другие математические модели и методы, в том числе нейронные сети и генетические алгоритмы, рассмотрены в главе 3.



Таблица 1.7

№ п/п	Модель	Цена, долл	Простота установки	Производительность	Документация	Программное обеспечение	Гарантийный срок
		1	2	3	4	5	6
1	<b>U.S. Robotics Courier V.Everything</b>	215 (удовлетв.)	Отлично	Средне	Отлично	Отлично	6 лет (хорошо)
2	<b>Zoom FaxModem V.3 41 Plus</b>	89 (отлично)	Отлично	Выше среднего	Отлично	Хорошо	7 лет (хорошо)
3	<b>Hayes Optima 336 B Internal Business Modern</b>	249 (плохо)	Отлично	Выше среднего	Удовлетв.	Хорошо	5 лет (удовлетв.)
4	<b>Diamond Multimedia SupraExpress 336i Sp с функцией ASVD</b>	130 (хорошо)	Отлично	Средне	Хорошо	Очень хорошо	5 лет (удовлетв.)
5	<b>Shark Multimedia Baby Tiger 336R</b>	95 (отлично)	Отлично	Выше среднего	Удовлетворительно	Очень хорошо	3 года (плохо)
6	<b>Wisecom Accelerator IV 33600 Voice Internal</b>	99 (отлично)	Плохо	Выше среднего	Удовлетворительно	Хорошо	5 лет (удовлетв.)
7	<b>Practical Peripherals Practical Internet Kit</b>	99 (отлично)	Удовлетв.	Ниже среднего	Плохо	Отлично	бессрочно (отлично)
8	<b>Hayes Accura 336 Total Gaming Solution</b>	170 (удовлетв.)	Отлично	Ниже среднего	Удовлетворительно	Отлично	5 лет (удовлетв.)
9	<b>Boca Research 33.6 Game/Business Modem</b>	120 (хорошо)	Плохо	Ниже среднего	Хорошо	Отлично	5 лет (удовлетв.)
10	<b>Practical Peripherals Practical 336 Voice/Data/Fax</b>	119 (хорошо)	Хорошо	Ниже среднего	Удовлетворительно	Отлично	бессрочно (отлично)

Таблица 1.8

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
4	2	5	3	5	4

### 1.4 Субъективность в выборе и оценке критериев

В моделях, использующих многокритериальные функции предпочтения руководителя, появилось понятие «вес» или значимость критерия. Поэтому вычислительная система должна представить руководителю методы и средства определения набора критериев. Тем более, что первое желание руководителя – указать как можно больше критериев, пытаясь связать каждый признак с самостоятельным критерием.

Так в работе [1.41] приводится список из 29 критериев, которым должна отвечать операционная система следующего поколения, правда, 7 из них отмечены как желательные. Но и 22 критерия – тоже очень много. Правда стремление увеличить число критериев возникает не всегда. Так при исследовании задачи о сбросе в Нью-Йоркский залив вредных отходов, использовались только три критерия [1.21]:

- a) общая стоимость операции (измерялась в миллионах долларов США);
- b) уровень загрязненности в точке мониторинга, расположенной вблизи побережья (концентрация загрязнения в процентах от заданного уровня);
- c) уровень загрязненности в точке мониторинга, расположенной в шельфе вдали от побережья (концентрация загрязнения в процентах от заданного уровня).

Наконец, для оценки качества воды в реках России и решения проблемы их очистки в работе [1.21] использовались четыре, но векторных критерия: санитарный, токсикологический, рыбохозяйственный, общий и скалярный критерий стоимости работ, последний во многих случаях рассматривался как ограничение. Показатели критерия загрязнения во всех случаях определялись как суммы относительных концентраций, входящих в группу.

Таким образом, разброс по числу критериев и способов их агрегирования очень большой. О способах агрегирования говорить не будем: они зависят от физических характеристик критерия и существа задачи. 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 увеличивается величина ошибки.

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.

Вопрос о том, по каким критериям оценивать принимаемые решения и какова значимость каждого критерия, зависят, конечно, от множества факторов, но среди них можно выявить два главных:

- анализ сложившейся обстановки;
- поставленная цель.

Анализ сложившейся ситуации – один из трудно формализуемых этапов поддержки принятия решения. Некоторые методы анализа и связанная с ним субъективность оценок рассмотрены в главе 3. Одна из причин сложности анализа ситуации объясняется тем, что противоборствующая сторона может активно заниматься дезинформацией. Автор этих строк, как и большинство фронтовиков-артиллеристов, вырыл бесчисленное количество ложных окопов артиллерийских орудий для того, чтобы ввести противника в заблуждение об участке предполагаемого наступления. Это один из самых простых примеров дезинформации. Другая причина – неполнота знаний о проблеме. Примером этого часто является медицинская диагностика. В качестве примера рассмотрим характер снятия неопределенности различными методами оценки «весов» кри-

териев: теории графов, подпространств текущего состояния и цели, и линейного программирования.

**Оценка «весов» критериев методом теории графов.** Теория графов предоставляет средства отображения структуры причинно-следственных связей: это пути, вершины и циклы. Они оказываются полезными для анализа сложных структур 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, будем считать зависящей от вершины. Связь, исчезающая при удалении вершины, будем считать контролируемой этой вершиной.

Для выявления циклов графа целесообразно предварительно выделить в нем сильно связанные области [1.42], 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 [1.42]. 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 [1.43]. То есть 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 критериев два подпространства  $S$  и  $D$ . Как и пространство критериев, подпространства  $S$  и  $D$  являются подмножествами  $m$ -мерного Евклидова пространства ( $m$  – число критериев)  $S \in R^m$ ,  $D \in R^m$ .  $S$  – это подпространство, в котором руководителю желательно иметь значения критериев, характеризующие объект, после выполнения решения (сценария, выполнения управляющего воздействия). В тех случаях, когда же-

лательное 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 и 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  $\gamma_j$  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 руководителя или эксперт может определить величины  $\gamma_{дох}$  и  $\gamma_{прод}$  или, что тоже,  $K_{дох}$  и  $K_{прод}$  используя значения 5 и 1 в качестве ориентиров или, как говорят в артиллерии, реперов – пристрелянных ориентиров.

Теперь вернемся к вопросу полноты критериев. Рассмотрим табл. 1.9.

Значения функций  $F_j$  даны в столбце  $K_j^S - K_j^D$  табл. 1.9. Если их упорядочить, то получим следующую последовательность:  $F_5 = 6, F_8 = 6, F_1 = 5, F_4 = 5, F_9 = 5, F_{11} = 5, F_{10} = 4, F_4 = 3, F_2 = 1, F_3 = 1, F_7 = 1, F_6 = 0$ .

Таблица 1.9

Критерии	$K_j^D$	$K_j^S$	$K_j^S - K_j^D$	$\gamma_i$
1. Уровень доходов	1	6	5	6
2. Уровень капиталовложений	7	8	1	9
3. Уровень товарооборота	5	6	1	5
4. Уровень производственного травматизма	6	9	3	1
5. Появление новых рабочих мест	2	8	6	0
6. Опасность раскола коллектива	1	1	0	0
7. Уровень дисциплины	6	7	1	1
8. Состояние производственного процесса	3	9	6	9
9. Уровень загрязненной воды	2	7	5	4
10. Уровень загрязнения воздуха	3	7	4	4
11. Использование информационных технологий	2	9	5	8

Последовательность  $F_i$  дает ряд убывания важности критериев с точки зрения руководителя и показывает на чем надо сосредоточить внимание. Однако столбец  $K_j^S$  табл. 1.9 имеет смысл «желательно». Для достижения этой цели можно предпринять

немедленные действия, а можно рассматривать указанное значение этого параметра как отдаленную цель. Мы часто слышим заявления: «Эти мероприятия начнут выполняться после 2005 года». То есть осознается важность задачи, но ясно, что в настоящее время средств для его выполнения нет. Здесь начинает играть роль значения  $\gamma_i$  (см. табл. 1.9). Например, уровень капиталовложений должен быть увеличен относительно не много, но это увеличение должно быть произведено обязательно, а уровень производственного травматизма, конечно, желательно снизить, но средства на это, если и будут выделяться, то очень мало, а на создание новых рабочих мест, с точки зрения руководителя, средств вообще выделять не стоит. С учетом столбца  $\gamma_i$  табл. 1.9 значения  $K_i$  образуют следующую последовательность:  $K_8 = 54, K_{11} = 40, K_1 = 30, K_9 = 20, K_{10} = 10, K_2 = 9, K_3 = 5, K_4 = 3, K_7 = 1, K_5 = 0, K_6 = 0$ .

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 отсекают различными способами. Один из них – по уровню разделения.

Переупорядочим номера критериев в соответствии с их «весом» и определим 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 (конечно, уровень разделения можно определять и другими функциями), в нашем примере  $\sum_{i=1}^N K_i = 172$ . «Вес» критерия «Состояние производственного

процесса» = 54 (переупорядоченный  $n = 1$ ),  $\alpha(1) = 54/172 = 0.3$ . «Вес» критерия «Использование информационных технологий» = 40 (переупорядоченный  $n=2$ )  $\alpha(2) = (54+40)/172 = 0.54$ . «Вес» критерия «Уровень доходов» = 30 (переопределенный  $n=3$ )  $\alpha(3) = (54+40+30)/172 = 0.72$  и т.д. Таким образом, задавая уровень разделения можно выделить критерии, значимость которых выше этого уровня. Конечно, неопределенность заложена в самом определении уровня разделения.

Но это все-таки некоторый ориентир: «отбрасываю менее значащую половину», «отбрасываю менее значащую треть» и т.д. При 29 критериях оценки операционной системы, упомянутых выше, такой подход может служить определенным подспорьем для сокращения числа критериев при выборе операционной системы.

**Оценка «весов» критериев методом линейного программирования.** Пусть функция предпочтения (1.9) имеет вид:

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

а значения  $\pi_j$  для вариантов  $A, B, C, D$  по двум критериям показаны в табл. 1.10 [1.44].

Таблица 1.10

Вариант	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
$\pi_1$	1	2	3	4
$\pi_2$	7	6	4	1

Эксперты или руководители, исходя из своих субъективных предпочтений, про-ранжировали 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  $\varepsilon$  следующим образом [1.44]:

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

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

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

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

Отрицательная величина  $\varepsilon$  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  $\varepsilon$  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 второй 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 в неустойчивых состояниях объектов исследования. Степень неопреде-

ленности в таких оценках резко возрастает, но и неучет динамической составляющей может привести к серьезным ошибкам в принятии решений.

Выше были рассмотрены только три подхода оценки критериев. Этому вопросу посвящена большая литература, рассмотренная, например, в обзоре [1.45]. Там же дана иерархическая классификация методов определения коэффициентов важности критериев. Очень интересна работа [1.46]. Но классификация методов определения коэффициентов важности критериев выходит за пределы работы.

### **1.5 Субъективность в выборе модели**

Чьи же пироги пышнее? 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 особенности задачи. Попытаемся подойти к оценке моделей с этих же позиций. В табл. 1.11 указаны условия и области применения различных моделей, уже рассмотренных выше, и те, которые будут обсуждены позже в главе 3 и традиционные модели, которые в работе не рассматриваются.

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.

### **1.6 Информационные технологии и субъективные оценки**

Использование вычислительной техники для решения управленческих задач оказалось не только сложным методологически, но во многих случаях перед специалистами и руководителями возник психологический барьер, не позволяющий использовать ЭВМ для принятия решений и эффективной реализации задач управления. Сегодня проблема заключается не в том, как использовать компьютер на фирме, а в том, как управлять фирмой с помощью вычислительных систем.

Для решения этой задачи предпринимались значительные усилия, как в области разработки методов, позволяющих использовать вычислительные системы для решения задач управления, так и в создании необходимых аппаратных и программных средств, позволяющих реализовать эти методы. При этом отчетливо осознавалось, что использование вычислительной техники для решения любых задач, в том числе и задач управления, основано на формализации получения исходных данных, оценок, даваемых руководителем, и алгоритмизации самого процесса выработки решения.

Одним из результатов этих усилий явилось появление парадигмы информационных технологий для задач управления (их называют также новыми, современными, передовыми и т.п. информационными технологиями). Информационная технология есть

способ организации процесса и средств получения сведений, уменьшающих степень неопределенности знаний, необходимых для решения поставленной задачи [1.47].

Таблица 1.11

Наименование модели	Условия применения	Области применения
<b>Субъективные вероятности (Байесовский анализ)</b>	Достаточный объем надежной информации, которая может быть обработана статистическими методами. Исследуемый процесс должен быть стационарен и описываться формулой Байеса.	Клиническая медицина, оценка потребности в различных продуктах пищевой промышленности, управление водными ресурсами, оценка надежности работы реакторов и др.
<b>Нечеткие множества</b>	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 управления автомобилем, потоками транспортных средств, медицинская диагностика, управление холодной прокаткой, оценка надежности сооружений и др.
<b>Многокритериальные функции предпочтения</b>	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.	Чрезвычайные ситуации, автоматизация проектирования, медицинская диагностика, управление технологическими процессами, принятие решений в политике, бизнесе и др.
<b>Нейронные сети</b>	Умение построить общую функцию, описывающую процесс управления или распознавания, представить ее множеством более простых функций и расположить эти простые функции в иерархической сети нейронов.	Распознавание образов, геологоразведка, экономический анализ, управление технологическими объектами (электрическими печами, химическим производством) и т.д.
<b>Генетические алгоритмы</b>	Сформулировать задачу в виде функции или алгоритма либо не удастся, либо нахождение решения математически сформулированной задачи требует неприемлемо большого перебора. Разновидность метода случайного поиска.	Банковская деятельность, решение экономических задач, выбор маршрутов транспортных средств, анализ качества программного обеспечения, выбор вариантов решения и сценариев действий и др.
<b>Системы алгебраических и дифференциальных уравнений, системы массового обслуживания и др. Традиционные методы моделирования оптимизации</b>	Умение и возможность сформулировать задачу в строгой математической постановке	В традиционных областях применения математических моделей

Президент фирмы IBM Л.Герстнер (L. Gerstner) так охарактеризовал роль новых информационных технологий: «Информационные технологии и особенно сетевые технологии – это наиболее мощный инструмент, который когда-либо создавала челове-



ская мысль. Они представляют собой новый механизм реального экономического роста, новую среду, которая заставляет пересмотреть суть взаимоотношений между правительствами, социальными институтами и коммерческими структурами всевозможных типов, а также между людьми, которым они служат сегодня и будут служить завтра» [1.48]. Таким образом, цель новых информационных технологий – способствовать менеджменту, реагировать на динамику рынка, создавать, поддерживать и углублять конкурентные преимущества.

Возможно, применение этих технологий даст толчок к широкому внедрению компьютерных методов генерации и оценки вариантов проектов, потому что они:

1. Позволяют перерабатывать очень большой объем информации о состоянии проектируемого или управляемого объекта. Эта информация вводится в вычислительную систему и может быть получена руководителем или специалистом в реальном масштабе времени, позволяя ему относительно легко, просто и быстро осуществляя анализ и оценку текущих данных. Руководитель проекта или специалист, имеющий дело с номенклатурой, состоящей из сотен наименований, может получить данные о текущем состоянии по каждому наименованию, динамике изменений, группировки по различным параметрам и т.д. Так руководитель проекта в нефтяной компании может получить данные не только по каждой скважине, но и информацию о группировке скважин по выходу нефти и газа, по методам обслуживания, по расходам на каждую тонну добываемой нефти, по геофизическим характеристикам, по каждому району добычи нефти и т.д. Эти данные позволяют ему делать собственные выводы как по проблемам, касающимся фирмы в целом, так и по частным вопросам.

2. Дают возможность получить как ретроспективу, за интересующий специалиста период, так и перспективу по выбранному показателю или нескольким показателям влияния различных факторов на ход выполнения проекта, позволяя ему делать квалифицированную оценку ситуации, исходя из своих предпочтений.

3. Генерируют и анализируют возможные варианты решений (сценарии действий) и помогают осуществлять выбор наилучшего, с точки зрения руководителя, варианта в сложившейся ситуации. Видимо, самый известный случай генерации и оценки решений компьютером имел место в матче Гарри Каспарова с компьютером Deep Blue, состоящем из 32 серийных процессоров IBM RS/6000, который чемпион мира проиграл. Ведь каждый ход в шахматах это генерация возможных решений, их оценка и выбор лучшего.

4. Реализуют групповую обработку данных, позволяющую преодолеть трудности общения, связанные с одновременным участием группы экспертов или руководителей в выборе варианта проекта. Групповая обработка данных позволяет всем участникам группы специалистов, принимающих решение по проекту (особенно если они не находятся в одном месте), работать в равных условиях, постоянно располагать всей имеющейся информацией и видеть все происходящие изменения.

5. Используют мультимедийные средства представления информации по проекту, позволяющие наглядно показывать результаты анализа не только в виде графиков и диаграмм, но и в виде подвижных изображений и звука.

В табл. 1.12 показано как современные компьютерные технологии уже изменили или постепенно меняют правила выработки проектных решений [1.49].

Часть перечисленных в табл. 1.12 компьютерных технологий: распределенные базы данных, телекоммуникационные сети, беспроводная связь и переносимые компьютеры, интерактивные видеодиски, высокопроизводительные ЭВМ уже прочно вошли в быт управленческих структур. Экспертные системы тоже используются во многих приложениях, а вот внедрение систем поддержки принятия решений (СППР) вызывает серьезные затруднения. Поэтому работа посвящена системам поддержки принятия

управленческих решений. Трудность использования этих систем связана, в частности, с тем, что человек при выработке решений опирается не только на методы формального анализа ситуаций и математические методы нахождения лучшего результата, но и на свой опыт и интуицию.

Таблица 1.12

<b>Прежнее правило</b>	<b>Новая информационная технология</b>	<b>Новое правило</b>
Информация может появляться в одно время в одном месте	Распределенные базы данных	Информация может появляться одновременно в разных местах тогда, когда она необходима
Сложную работу может выполнять только эксперт	Экспертные системы, системы поддержки принятия решений	Работу эксперта может выполнять специалист по общим вопросам
Необходимо выбирать между централизацией и децентрализацией	Телекоммуникационные сети	Можно одновременно получать преимущества от централизации и децентрализации
Все решения принимают менеджеры	Средства поддержки принятия решений, доступ к базам данных, средства моделирования	Принятие решений становится частью работы каждого сотрудника (иерархическое принятие решений)
Специалистам для получения, хранения поиска и передачи информации требуется офис	Беспроводная связь и переносимые компьютеры	Специалисты могут посылать и получать информацию из того места, где они находятся
Лучший контакт с потенциальным покупателем – личный контакт	Интерактивный видеодиск	Лучший контакт с потенциальным покупателем – эффективный контакт
План пересматривается периодически	Высокопроизводительные ЭВМ	План пересматривается оперативно, по мере необходимости

## **ГЛАВА 2**

### **АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПРЕДПОЧТЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

#### **2.1 Задачи компьютерных систем поддержки управленческих решений**

Системы поддержки управленческих решений существуют очень давно: это военные советы, коллегии министерств, всевозможные совещания, аналитические центры и т. д. Хотя они никогда не назывались системами поддержки управленческих решений, но выполняли именно их задачи (в некоторых случаях частично). Решение в этих органах, в конечном счете, всегда принимал и принимает лидер. До последнего времени в этих органах, естественно, не использовали вычислительные машины и правила их функционирования. Хотя процедуры принятия решений в этих органах и регламентировались, но были формализованы далеко не так, как это требуется в человеко-машинных процедурах.

По мере совершенствования вычислительных систем, ориентированных на хранение, обработку и использование данных и знаний, стали создаваться системы, в которых результаты принятия управленческих решений приближались по качеству к решениям, принятым человеком, а по скорости получения решений существенно превышали время реакции человека (особенно в непредсказуемых и непредвиденных ситуациях). Такие системы называют интеллектуальными системами, мультиагентными системами искусственного интеллекта, системами поддержки принятия решений (СППР) [2.1 – 2.5]. Может быть наиболее ярким примером такой системы является упоминавшийся выше шахматный компьютер Deep Blue. Ведь каждый ход в шахматной партии - это принятие решения.

Многочисленные психологические исследования показывают, что сами руководители без дополнительной аналитической поддержки используют упрощенные, а иногда и противоречивые решающие правила [2.6].

Компьютерная поддержка процесса принятия решений, так или иначе, основана на формализации методов получения:

- объективных (измеряемых) и субъективных (даваемых руководителем или экспертом) исходных и промежуточных оценок;
- алгоритмизации самого процесса;
- анализа ситуации;
- выработки решения.

Она включает:

- помощь руководителю при анализе и оценке сложившейся ситуации и ограничений накладываемой внешней средой,
- выявление предпочтений руководителя, т.е. критериальной оценки параметров, формирование методов оценок ситуации и вариантов решений,
- генерацию возможных с точки зрения руководителя решений, т.е. формирование списка, допустимых для руководителя, альтернатив,

- оценку возможных альтернатив, исходя из предпочтений руководителя и ограничений, накладываемых внешней средой,
- согласование решений группы руководителей, если это необходимо,
- анализ последствий принимаемых решений и оценка их руководителем,
- выбор лучшего, с точки зрения руководителя, варианта.

Между сотрудником, работающим с руководителем и с 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.

В работе [2.1] дается обобщенная характеристика руководителя, работающего в системе принятия решений:

- поведение руководителя целеустремленно и решение ориентировано на достижение определенной цели;
- руководитель несет ответственность за последствия принимаемого решения, за его своевременность и качество;
- руководитель выбирает только обоснованные решения, которые он может содержательно аргументировать;
- процедура принятия решения руководителем носит поэтапный итерационный характер, включая корректировку целей, задач и способов воздействия на объект;
- руководитель в процессе решения задачи работает с естественной и, по возможности, привычной для него и широко употребляемой в данной области содержательной информацией.

Учитывая такой характер руководителя, использование им систем поддержки принятия решений, может привести к противоречию, проявляющемуся в смешении ответственности [2.1]. Смешение ответственности заключается в следующем. Математик, компетентный в математических дисциплинах, несет профессиональную ответственность только за качество решения математически поставленной задачи (модели). Некоторые модели мы рассмотрели в главе 1. Он не компетентен в содержательной стороне процедур проектирования или планирования, оценке последствий принимаемых решений и не отвечает за них. Тем не менее, прямо или косвенно (через разработанные им модели и алгоритмы) решение формирует именно он. Руководитель, компетентный в содержательных вопросах и отвечающий за конечный результат, не обязан быть специалистом в математических методах и программировании. Для него система поддержки принятия решения в значительной степени представляет собой «черный ящик», и процесс формирования решения не вполне ясен. Это противоречие может вызвать недоверие у руководителя и его нежелание работать с системой поддержки принятия решений.

Возможно ли разрешение возникшего противоречия? Возможно, по крайней мере, двумя путями:

- алгоритмы оценки и анализа ситуаций, используемые в СППР, должны соответствовать стандартным методам, принятым на фирме, которые руководитель хорошо знает и считает правильными;

- введение в СППР новых моделей и методов возможно только после их оценки, проверки и утверждения руководителем. Под проверкой имеется в виду, конечно, не проверка математической корректности, а эксперименты по оценке новыми методами ситуаций, имевших место раньше и сравнение с оценками, сделанными в то время. В ходе экспериментов руководитель должен проникнуться доверием к новым методам или отвергнуть их. Так, кстати, проверяются новые методы в метеорологии.

В главе 1 названа одна причина, препятствующая широкому внедрению СППР – игнорирование субъективных оценок и предпочтений руководителя, сейчас была названа вторая: некоторое недоверие руководителей к используемым в СППР математическим методам (возможно, из-за незнания или непонимания этих методов).

Термин «система поддержки принятия решений» появился в начале семидесятых годов. За это время дано много определений СППР [2.7 – 2.10].

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 специалисту или руководителю.

Такой подход реализован во многих продаваемых сейчас пакетах. Например, известную систему Oracle Express OLAP в [2.11] определяют как «инструмент оперативного анализа данных». Сама аббревиатура OLAP расшифровывается как On Line Analytical Processing (оперативный анализ данных). К основным признакам OLAP в [2.11] относят:

- разделение данных на показатели и измерения, определяющие соответственно состояние и пространства бизнеса;
- логическое представление значений показателей в виде многомерных кубов, упорядоченных по равноправным измерениям;
- установление неограниченного числа и количества уровней иерархических связей между значениями измерений;
- гибкое манипулирование данными, заключающееся в возможности построения любых значений показателей по заданным правилам и выполнение логических операций над множеством показателей по заданным правилам;
- неограниченные возможности агрегирования заданного множества значений показателя;
- возможность обработки запросов в темпе процесса аналитического осмысления данных пользователем;
- развитые средства табличного и графического представления данных конечному пользователю.

То есть OLAP – это действительно программная система, анализирующая процессы в реальном времени, и представляющая информацию в удобном для пользователя виде.

Функции анализа ситуаций, реализуемые, в частности, в OLAP, должны входить в систему поддержки принятия решений, но СППР должны помочь руководителю ответить не только на первый вопрос: «где мы находимся», но и на вопросы «куда мы хотим прийти» и «как туда попасть». Поэтому функции СППР должны быть гораздо шире, чем, например, в OLAP.

Исходя из этого, можно сказать, что СППР – это человеко-машинная система, позволяющая руководителям использовать свои знания, опыт и интересы, объективные и субъективные модели, оценки и данные для реализации компьютерных методов выработки решений, которая выполняет следующие функции:

- анализ ситуации с учетом субъективных оценок и предпочтений руководителя,
- генерацию допустимых для руководителя вариантов возможных решений,
- согласование групповых решений на основе предпочтений руководителей (если это необходимо),
- прогнозирование последствий возможных решений,
- оценка СППР возможных решений в соответствии с предпочтениями руководителя и их ранжирование,
- выбор решения в соответствии с предпочтениями руководителя и оценками.

При таком подходе СППР не только анализирует данные, но и вырабатывает варианты решений, которые могут быть приняты (или отвергнуты) руководителем.

## **2.2 Структурные средства учета предпочтений руководителя в многоагентной системе поддержки управленческих решений**

Как только появились вычислительные машины, начались работы по созданию «общего языка» человека и ЭВМ. Результаты этих работ хорошо известны: удалось создать дружественный интерфейс, обеспечивающий эффективное взаимодействие человека и компьютера. Эти работы интенсивно продолжаются, и одним из их последних результатов является технология многоагентных систем.

Можно сказать, что в этом «общем языке» заложены две составляющие:

- методы и алгоритмы, посредством которых многоагентная система решает задачи, анализирует обстановку, вырабатывает рекомендации, т.е. методы вычислений, поиска информации и генерации решений;
- методы создания агентов, алгоритмы их взаимодействия и организация функционирования системных программ многоагентных систем поддержки принятия решений.

Ниже рассматривается первая составляющая. Вторая составляющая рассмотрена, например в [2.12, 2.13].

При практической реализации распределенных систем, в частности систем поддержки принятия решений, возникли серьезные трудности с проектированием и даже просто описанием объединенных в единую сеть разнородных локальных компьютерных узлов. Эти узлы воспринимают из внешнего мира, в том числе и от человека, различную информацию, обмениваются данными друг с другом, перерабатывают эти данные в соответствии с заложенными в них алгоритмами и в результате вырабатывают некоторые рекомендации или решения. В последние годы в рамках общего научного направления «искусственный интеллект» активно ведутся исследования под объединенным названием «многоагентные системы» [2.4, 2.14 – 2.16]. Упор на многоагентные, т.е. распределенные, системы сделан в связи с тем, что в системах искусственного интеллекта из-за огромного объема вычислений, в частности, из-за необходимости осуществлять большой перебор, приходится использовать мощные распределенные многопроцессорные вычислительные комплексы и сети, и связанные с этим распределенное управление вычислительным процессом.

В главе 1 была показана важность учета субъективных оценок в процессе принятия решения. В этой главе рассматривается многоагентная технология, позволяющая создавать распределенную систему поддержки управленческих решений, каждый элемент которой (агент) может учитывать оценки руководителя в своей предметной области и согласовывать свои частные интересы с общими целями системы управления.

Для того чтобы уяснить себе организацию компьютерного взаимодействия в многоагентных системах и провести аналогию с системами поддержки принятия решений, рассмотрим системные (управляющие вычислительным процессом) программные

средства многоагентных систем. Поскольку в литературе по многоагентным системам все шире используется специальная терминология, начнем с этой терминологии.

Слово «агент» имеет широкий диапазон значений: от «агента влияния», которым клеймят своих противников политические деятели, до безобидных программных модулей в сложных компьютерных системах. Нас будут интересовать программные модули. Словарь Вебстера дает следующее определение агента: «лицо или фирма, облеченные полномочиями действовать за другого». В этом определении нет упоминания программного модуля в качестве агента, но модуль в многоагентной системе тоже уполномочен действовать «за другого» - эксперта или лица, принимающего решение. Термин «агент» является полезной метафорой для агентно-ориентированных систем, являющихся объединением объектно-ориентированной технологии программирования и технологии искусственного интеллекта [2.16]. Действительно, с инженерной точки зрения агентно-ориентированное программирование может рассматриваться как специальный класс объектно-ориентированного программирования. Очень важно, что это именно объектно-ориентированная технология программирования, так как она становится или уже стала, основной технологией создания программного обеспечения.

На рис. 2.1, показана схема агента в терминах методов искусственного интеллекта. В блоке «структура агента» появляются упоминавшиеся выше, но еще не раскрытые термины «убеждения», «желания», «замыслы и обязательства». Мы еще вернемся к этим терминам. Пунктиром на рис. 2.1 обозначена пересылка данных, сплошной линией - переход из состояния в состояние. Состояний может быть три: активное, «замороженное» (пассивное) и ликвидации. Заметим, что любая управляющая система или ее элемент может находиться в одном из этих состояний. Переход из состояния в состояние, как правило, осуществляется операционной системой.



Рис. 2.1

Для реализации своих функций агент должен обладать, по крайней мере, четырьмя возможностями [2.17]:

- поддерживать взаимодействие с окружающим миром, получая от него информацию и реагируя на нее своими действиями (реактивность);
- проявлять собственную инициативу (активность);
- посылать и получать сообщения от других агентов и вступать с ними во взаимодействие (социальная способность);
- действовать без вмешательства извне (автономность).

Может быть, это и несколько искусственная аналогия, но коллектив, вырабатывающий решение, также должен обладать аналогичными возможностями. С помощью рис. 2.2, показывающего схему функционирования агента, попытаемся отобразить термины, используемые в искусственном интеллекте, показанные на рис. 2.1, в понятия системного программирования и их связь с субъективными оценками и предпочтениями руководителя. Блоками на рис. 2.2 показаны функции и «причины» действий агента [2.17], стрелками показана связь между блоками. Расшифруем составляющие этой схемы.

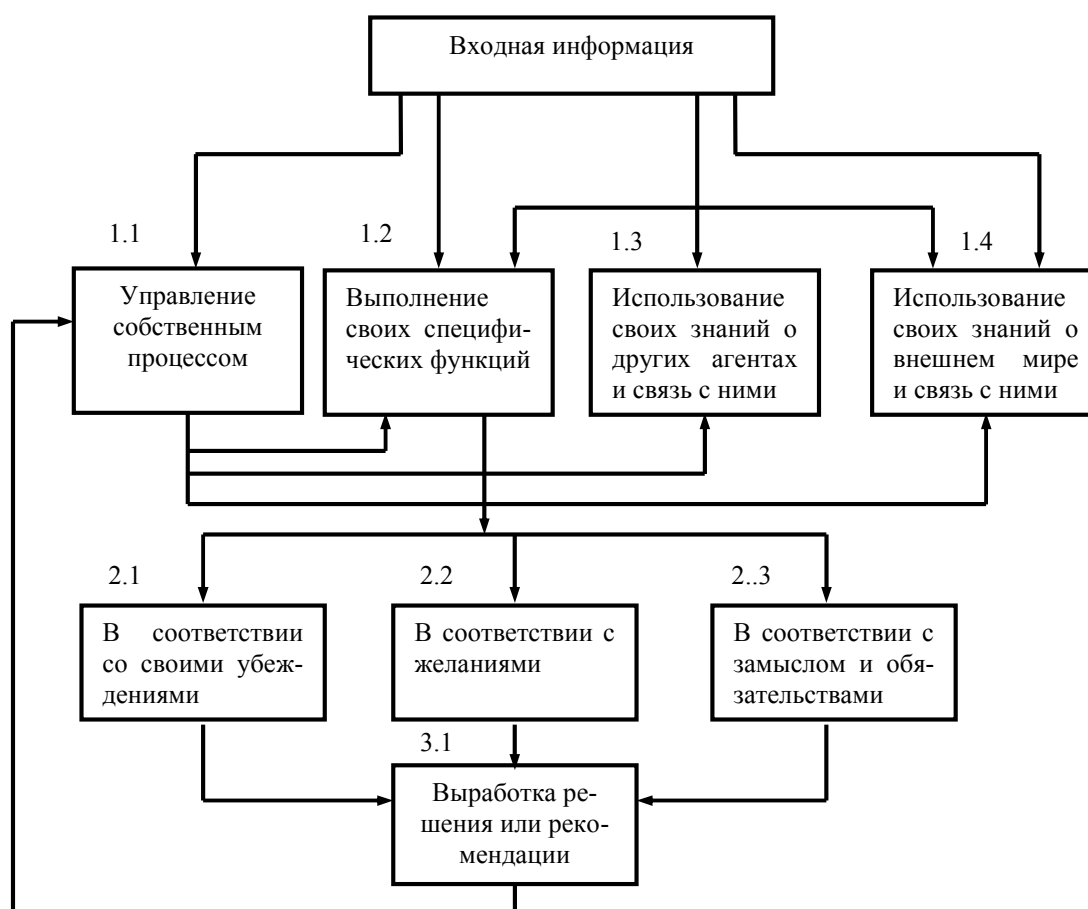


Рис .2.2

1.1. Управление собственным процессом. В работах по распределенным экспертным системам [2.18, 2.19] отмечалось, что экспертные системы в распределенных системах поддержки принятия решений обладают своей собственной локальной операционной системой, причем набор критериев диспетчеризации задач оказывается шире традиционного и отражает оценки и предпочтения руководителей.

Локальная операционная система, управляя вычислительным процессом, определяет, какие специфические функции агента должны выполняться в данный момент (блок 1.2 на рис. 2.2), т.е. какая задача должна решаться. Определяя, используемые в



задаче методы, локальная операционная система фактически определяет знания о других агентах (блок 1.3) и знания о внешнем мире (блок 1.4), которые должны использоваться в этой задаче, а также осуществляет управление процессами ввода/вывода (блоки 1.3 и 1.4).

1.2. Выполнение своих специфических функций. Ради выполнения этих функций, собственно, и создаются многоагентные системы СППР. Каждая такая функция является составляющей в выработке решения. При этом она должна отражать предпочтения руководителя. Так, в системах поддержки принятия решений это может быть генерация возможных вариантов решений, их оценка и/или согласование. Эти функции могут быть реализованы различными алгоритмами генерации, согласования и выбора решений в соответствии с предпочтениями руководителя. Подробнее специфические функции многоагентных систем поддержки принятия решений будут рассмотрены ниже.

Еще раз подчеркнем, что именно для выполнения этих функций создаются базы знаний и базы данных, разрабатываются методы информационного поиска, численные методы, методы распознавания, генерации, оценки, согласования решений и реализующие их программы. Этот блок использует знания о других агентах (блок 1.3) и внешнем мире (блок 1.4).

1.3. Использование своих знаний о других агентах и связь с ними. Эти знания необходимы СППР для оценки важности и достоверности информации, получаемой от других агентов, а также при согласовании коллективных решений нескольких агентов. Все оценки должны соответствовать субъективным оценкам руководителя.

Поскольку у агента нет полной информации о других агентах и внешнем мире, он вынужден действовать в условиях неопределенности, взаимодействуя с другими агентами и согласовывая с ними свои решения. Здесь также напрашивается аналогия с человеком, принимающим решения. Обычно различают два типа взаимодействия [2.18] совместное, объединенное (английский термин – cooperative) и эгоистическое, состязательное (английские термины self-interested, competitive).

Первый тип взаимодействия имеет место, когда агенты в многоагентной системе имеют общую цель, единую задачу, выполняемую системой, а сама многоагентная СППР централизованно спроектирована для решения единой общей проблемы. Примером такой СППР является система управления воздушным движением, в ней деятельность всех подсистем направлена на выполнение одной задачи: в нашем примере выбор и реализация лучших путей движения и посадки самолетов. Хотя у каждого из агентов есть свои «интересы», отображающие интересы специалиста (агента), являющегося пользователем этого агента.

Второй тип взаимодействия характеризуется ситуацией, когда агенты, исходя из своих собственных различных «интересов», пытаются прийти к совместному групповому решению по хорошо определенным альтернативам. Например, при взаимодействии различных сетей связи компьютеры, управляющие ресурсами различных и, возможно конкурирующих, систем телекоммуникаций, вынуждены находить лучшие (а возможно и просто необходимые) маршруты следования пакетов. Поэтому при состязательном взаимодействии, независимые агенты с независимыми целями ищут согласованные решения. Argіoі они могут быть вовсе не дружественны друг к другу или в некоторых случаях – просто ничего друг о друге не знать.

Какой бы тип взаимодействия ни имел место, взаимодействующие агенты являются элементами распределенной системы. В распределенных системах поддержки принятия решений встает задача согласования решений, как между агентами различных уровней, так и между агентами одного уровня.

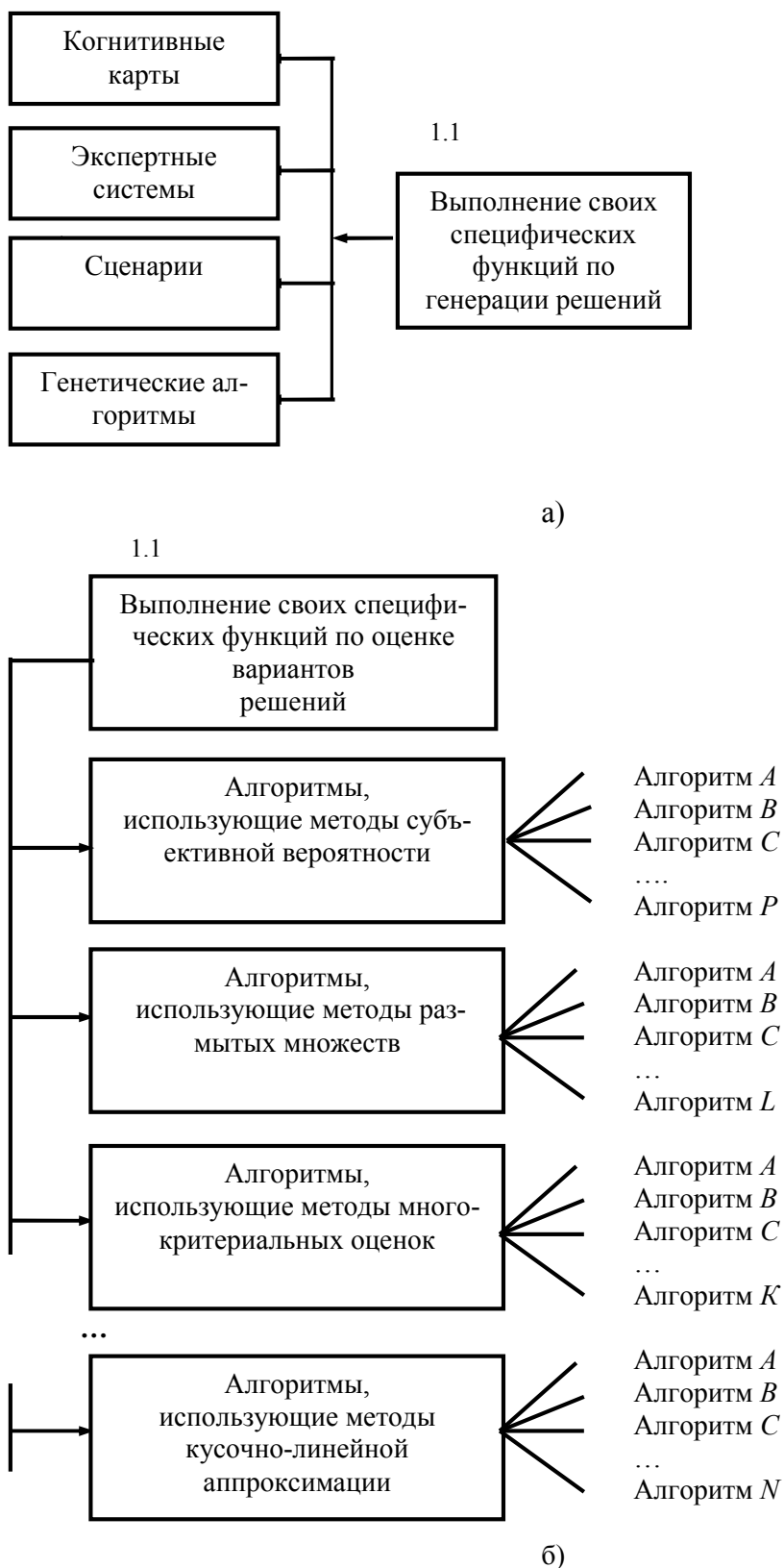


Рис. 2.3

Для того чтобы процедура согласования решений реализовывалась эффективно, специалистам и руководителям, участвующим в ней, надо предложить какие-то процедуры, по которым они осуществляли бы поиск компромисса. В настоящее время разра-

ботано большое количество таких процедур. Они перечислены в разд. 2.3. Агенты, согласовывающие решения, используют программы, реализующие эти процедуры.

1.4. Использование своих знаний о внешнем мире и связь с ним. Знания о мире необходимы для оценки важности и достоверности информации, получаемой из внешнего мира, а также для выбора алгоритмов вычислений. Алгоритмы оценки важности и достоверности информации, а также алгоритмы вычислений должны быть определены экспертом или руководителем. По ним производится обработка информации, и даются оценки обстановки, используемые для выработки решения.

Перейдем на 2-й уровень графа рис. 2.2. В нем отражены, если так можно выразиться, «побудительные мотивы» действий агента.

2.1. Убеждение (belief). Словарь Вебстера дает определение термина belief – «не-что, во что верят или воспринимают как истинное», т. е. этот термин не вполне эквивалентен русскому слову «убеждение». Может быть, даже ближе был бы термин «вера», но в русском языке он имеет другой смысл. Поэтому будем использовать термин «убеждение» за неимением более точного эквивалента.

Агент может быть «убежден», т.е. может воспринимать как истинные правила формирования вывода в экспертных системах, базовые шкалы и «веса» критериев, функции (полезности) или отношения предпочтений, правила замещения при определении гиперповерхностей безразличия и т.д. Таким образом, понятие «убеждение» применительно к агенту системы поддержки принятия решений имеет совершенно конкретный смысл. Здесь возникает аналогия с субъективными предпочтениями эксперта или руководителя. Агент должен быть настроен так, чтобы он использовал те алгоритмы, которые в данной ситуации предпочел бы руководитель.

В [2.18] «убеждения» подразделяются на:

- внутренние «убеждения» агента, то есть алгоритмы и оценки, заложенные в него при разработке или внесенные в процессе эксплуатации;
- убеждения, возникшие в результате наблюдения.

Начнем с «внутренних убеждений» определения алгоритмов и их оценок. На рис. 2.3,а показаны возможные методы генерации вариантов решений, а на рис. 2.3,б – возможные методы их оценки.

Начнем с рис. 2.3.а. Выбор метода генерации решений зависит от характера задачи и накопленного в многоагентной системе опыта. Если требуется выявить структуру причинных связей между элементами системы, элементами сложного объекта, составляющими проблемы и т.п. и оценить последствия, происходящие под влиянием воздействия на эти элементы или изменения характера связей, то многоагентная система поддержки принятия решений может предложить использовать метод когнитивных карт.

В тех случаях, когда в многоагентной системе накоплены эвристические знания для решения задач, не поддавшихся традиционной математической формулировке в виде систем уравнений, СППР может предложить набор готовых программ экспертных систем, хранящихся в ее памяти.

Если для решения задачи, может быть задан набор возможных операций таких, что задача может быть выполнена при различных последовательностях их реализации и/или при выполнении только некоторых из них, то СППР может сгенерировать различные сценарии выполнения задачи. Руководитель с помощью системы поддержки принятия решений должен выбрать один из них.

При этом руководитель должен убедиться, что алгоритмы и оценки, заложенные в СППР, соответствуют его предпочтениям. Если аналогичные задачи с данным руководителем решаются повторно, то многоагентная СППР может принять «самостоятельное решение».

На рис. 2.3,б перечислены некоторые методы, которые могут быть использованы (и используются) при оценке вариантов решений и выше дано их краткое описание. Конкретный метод выбирается в зависимости от характера данных, особенности задачи и предпочтений специалиста (см. главу 1). Конечно на рис. 2.3,б перечислены далеко не все модели, используемые в СППР.

Что касается убеждений, возникших в результате наблюдения, то это оценка поступающей информации, которая может формироваться по правилу:

ЕСЛИ наблюдается факт ( $X$ ), ТО убеждение ( $X$ );

Убеждения, возникшие в результате связи с другими агентами, могут формироваться по правилу:

ЕСЛИ  $A$  сообщает о факте ( $X$ ,  $A$ ) И ( $A$ ) заслуживающий доверия источник, ТО убеждение ( $X$ ).

2.2. Желания по определению, данному в [2.18] – это цели или амбиции агента, которые он может достичь посредством совершения кажущихся ему возможных действий.

Можно сказать, что агент определяет абстрактное подпространство, в котором он находится в начальный момент своего функционирования, и определяет подпространство, в котором он «хотел бы» оказаться в результате выполненных им действий. Это есть его «желание». Например, агент, регулирующий давление пара, определил, что давление превысило норму. Он предпринимает некоторые действия, скажем, дает команду на открытие клапана, в результате давление становится нормальным. Нормальное давление в пределах соответствующих допусков – это то абстрактное пространство, в котором агент «хотел бы» оказаться. Для оценки «желаний» можно использовать метод, показанный в табл. 1.9. Таблица типа табл. 1.9 вводится в агента, а значения столбца  $K_j^S$  и есть «желания» агента.

2.3. «Замыслы» и «обязательства» (по терминологии, используемой в некоторых работах, – намерения). «Замыслы» агента могут интерпретироваться как набор алгоритмов (сценариев), привлекательность и реализуемость которых меняется в зависимости от информации, получаемой из внешнего мира и от других агентов. Выбор алгоритмов должен соответствовать предпочтениям руководителя. «Обязательства» – необходимость (обязанность) перевести систему из абстрактного подпространства, в котором она находится, в абстрактное подпространство, в котором она должна находиться (см. табл. 1.9).

Необходимо заметить, что введение терминов «убеждение», «желание» и т.п. является попыткой, возможно не очень удачной, сблизить понятия, характеризующие ментальность человека с программистскими понятиями. Такие попытки уже были в программировании, когда, например, пытались создать языки программирования «близкие к естественному языку».

3.1. Выработка решения задачи или рекомендации осуществляется за счет оценок возможных алгоритмов (сценариев) и выбора из них наилучшего с учетом субъективных оценок руководителя и ограничений, диктуемых обстановкой. Результат представляется пользователю через блок 1.1, рис. 2.2.

На рис. 2.2 видно, что выполнение агентом своих функций, показанных на первом ярусе схемы, осуществляется на основании «побудительных мотивов», показанных на втором ярусе. В схеме на рис. 2.2 нет функции «обновление своей структуры», показанной на рис. 2.1. Она осуществляется на основании информации, полученной из внешнего мира и от других агентов, и поэтому «растворилась» в блоках 1.3 и 1.4.

На рис. 2.1 показана структура локального агента. Локальные агенты имеют доступ к локальным ресурсам и их иногда называют персональными помощниками. Они часто реализуют персонифицированный интерфейс, т.е. настроены на индивиду-

альные привычки и предпочтения конкретного пользователя, множество функций, которые они способны выполнять достаточно широко.

Мобильные агенты. Самое, наверно, грубое, но хорошо иллюстрирующее определение: мобильный агент - это программа, которая может мигрировать от машины к машине в гетерогенной сети. Он может прекратить выполнение программы в произвольной точке, передислоцироваться на другую машину и продолжить выполнение программы. Структура мобильного агента показана на рис. 2.4.

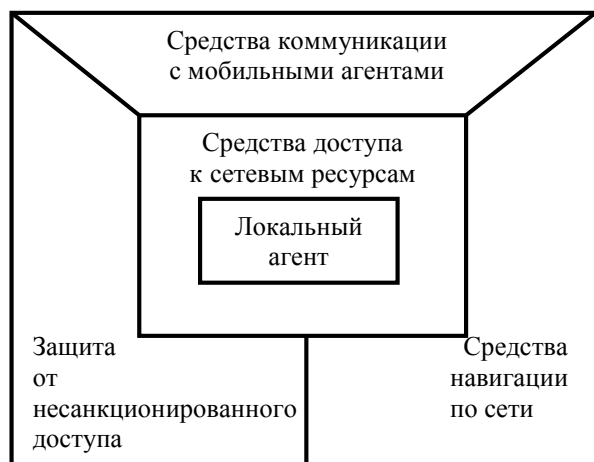


Рис. 2.4

Мобильные агенты функционируют в многоагентных системах, построенных с использованием методов распределенного искусственного интеллекта. Они характеризуются скоординированным интеллектуальным поведением, обеспечивающим достижение общей цели, стоящей перед многоагентной системой.

### 2.3 Функции агентов и субъективные предпочтения руководителей

Часть многоагентной системы поддержки управленческих решений показана на рис. 2.5 [2.19]. Все агенты, показанные на рис. 2.5, являются частью вычислительной сети (на рис. 2.5 обозначено рамкой). На рис. 2.5 не показаны агенты представления мультимедийной информации, агенты поиска информации в базах данных и знаний, агенты передачи информации по сети, агенты бухгалтерского учета, составления всевозможных расписаний (например, движения транспорта или товаров) и т.п. Выделены агенты, связанные с системой поддержки управленческих решений.

Информационная система, показанная на рис. 2.5 осуществляет сбор, обработку, хранение передачу и представление информации. Основу современной информационной системы составляет сеть. Международным стандартом правил работы в сети (протоколов сети) стали протоколы Internet/Intranet их часто называют Web-технологиями или WWW технологиями (технологии мировой паутины). Вычислительная модель Web представляет новые средства, ориентированные на построение крупномасштабных систем, интегрируемость их отдельных частей, легкую управляемость и гибкость. Поскольку основные составляющие сети типа баз данных, электронной почты, гипертекста, мультимедийных средств хранения и представления данных и т.п. не определяют специфики принятия решений, а только облегчают выбор руководителя, они не рассматриваются.

## Рабочие места принятия решений руководителей и специалистов

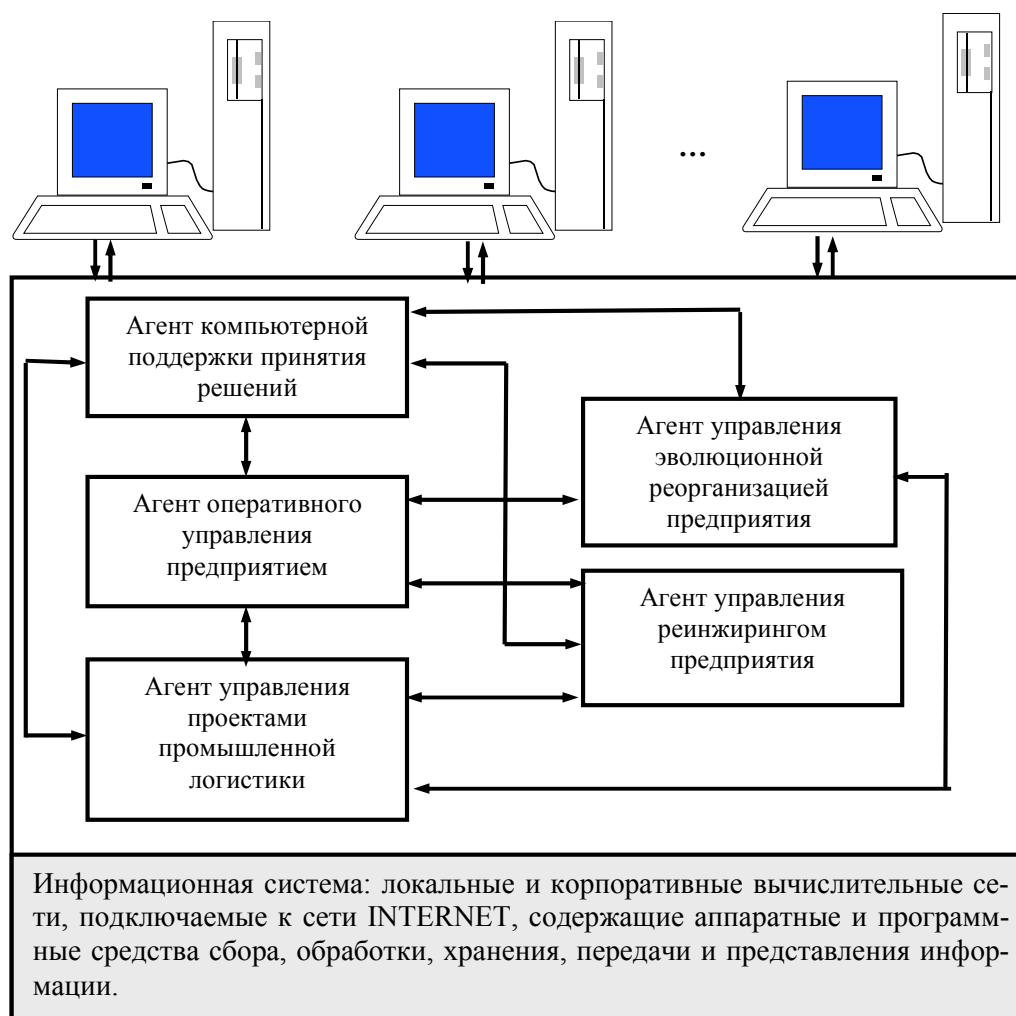


Рис. 2.5

Рис. 2.6 – это развернутый блок агента поддержки принятия решений рис. 2.5. На нем показаны связи агентов при реализации системы поддержки принятия решений методом многоагентной системы. Через агента в представлении и поиске информации или непосредственно, он связан со всей информационной системой, обозначенной на рис. 2.5.

Заметим, что по структуре связей между агентами процесс принятия решений может повторяться, если предлагаемые решения не удовлетворяют руководителя. Агент оценки возможных альтернатив решения может обратиться к агенту оценки ситуации, если его «не удовлетворяют» результаты анализа. В тех случаях, когда согласование решений не требуется, агент оценки возможных альтернатив решения обращается сразу к агенту прогнозирования. Заметим, что агенты могут находиться на разных узлах сети. В дальнейшем будем использовать два термина: СППР и агент поддержки принятия решения, не делая между ними разницы. Рассмотрим коротко функции каждого агента.

**Функции агента анализа ситуации.** В СППР анализ обстановки так или иначе связан с анализом данных и учетом точки зрения руководителя или специалиста. Анализ обстановки является достаточно сложным процессом, в его анализе субъективные решения руководителя могут сыграть решающую роль. Обычно методы анализа тесно

связаны с областями применения. В качестве одного из методов анализа широко используется так называемый интеллектуальный анализ данных (ИАД), рассмотренный в главе 3.

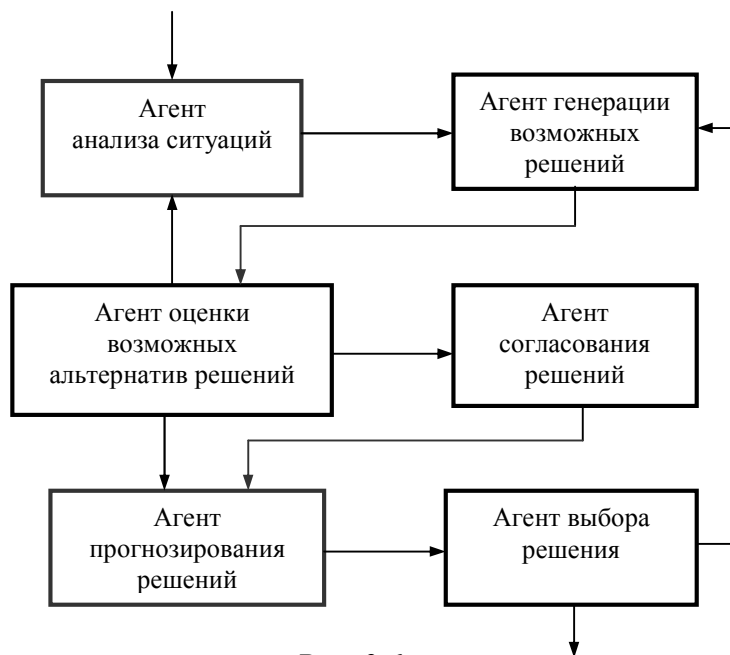


Рис. 2.6

В основу технологии интеллектуального анализа данных положено несколько принципиально различных подходов, большая часть которых показана в табл. 2.1 [2.20]. Использование некоторых из них невозможно без специальной подготовки.

**Функции агента генерации решений.** О методах генерации решений и влиянии на их результаты предпочтений и интересов руководителя уже говорилось выше, некоторые методы будут рассмотрены в главах 4 и 5.

**Функции агента оценки вариантов решений.** В процессе принятия нового решения человек в состоянии рассмотреть несколько вариантов и во многих случаях не замечает лучший или опасный (пример «зевки» в шахматах). СППР способна рассмотреть если не все, то очень большое число возможных решений. Но генерация большого числа решений имеет смысл только в том случае, если она сама сможет их оценить и проранжировать с учетом предпочтений руководителя. (Показывать большое число руководителю бессмысленно, он не в состоянии проанализировать все варианты). Для оценки вариантов используются различные математические модели, часть которых перечислена на рис. 2.3,6 [2.1, 2.2, 2.8, 2.21-2.24]. Некоторые из них рассмотрены в главах 1, 4 и 5. Важно, чтобы они учитывали субъективные интересы руководителя.

**Функции агента согласования групповых решений.** Для того чтобы процедура согласования решения реализовывалась эффективно, специалистам, участвующим в ней, надо предложить какие-то правила, по которым они осуществляли бы поиск компромисса. Такие правила, применяемые на практике, в большинстве случаев достаточно просты. Выбор правил и их реализация тесно связаны с интересами участвующих в согласовании руководителей. Ниже дается краткое описание некоторых правил. Подробно эти методы рассматриваются, например в [2.2].

**А. Метод идеальной точки.** Точка  $a$  называется идеальной, если она оптимальна сразу по всем критериям руководителя. Как правило, такой точки, соответствующей оценкам хотя бы одного предъявленного объекта, не существует, но правилом поиска

компромисса может быть минимизация расстояния до идеальной точки, которая может быть легко определена.

Таблица 2.1

Технология	Достоинства	Недостатки
<b>Правила вывода</b>	Удобны в тех случаях, когда данные связаны отношениями, представимыми в виде правил «Если ..., то ...»	При большом количестве правил теряется наглядность; не всегда удается выделить отношения «Если ..., то ...»
<b>Нейронные сети</b>	Удобны при работе с нелинейными зависимостями, зашумленными и неполными данными	«Черный ящик»: модель не может объяснить выявленные знания; данные обязательно должны быть преобразованы к числовому виду
<b>Нечеткая логика</b>	Ранжируют данные по степеням близости к желаемым результатам; нечеткий поиск в базах данных	Технология новая, поэтому сейчас известно ограниченное число специализированных приложений
<b>Визуализация</b>	Многомерное графическое представление данных, по которому пользователь сам выявляет закономерности – образцы и отношения между данными	Модели не исполняются и их интерпретация полностью зависит от аналитика
<b>Статистика</b>	Есть большое число алгоритмов и опыт их применения в научных и инженерных приложениях	Больше подходят для проверки гипотез, чем для выявления новых закономерностей в данных
<b>К-ближайший сосед</b>	Выявление кластеров, обработка целостных источников данных	Большие затраты памяти, проблемы с чувствительностью
<b>Интегрированные технологии</b>	Можно выбирать подходы, адекватные задачам, или сравнивать результаты применения разных подходов	Сложные средства поддержки; высокая стоимость; для каждой отдельно взятой технологии не всегда реализуется наилучшее решение

*В.* Метод уступок. Сущность метода – нахождение компромисса, определяющего «плату» за потерю показателей по какому-либо критерию руководителя или части критериев за счет выигрыша по другому критерию или другим критериям.

*С.* Метод согласования решения по главному критерию. В некоторых случаях задачу с несколькими показателями удастся свести к задаче с одним единственным показателем, а для остальных показателей ввести некоторые ограничения. Тогда проблема согласования сводится к выделению главного критерия, согласованию ограничений для всех остальных критериев и нахождению компромисса по главному критерию.

*Д.* Метод согласования решения при лексикографическом упорядочении. В тех случаях, когда могут быть определены важности критериев, упорядочение можно проводить сначала по самому важному критерию с точки зрения руководителя, если по этому критерию равными окажутся несколько состояний, то по второму по важности критерию, и т.д.

*Е.* Метод согласования по функции предпочтения (полезности).

Как уже отмечалось, оценивая варианты решений или различные объекты по многим критериям, руководитель может преследовать более чем одну цель и, эти цели (критерии) имеют различную степень важности. У каждого руководителя могут быть



свои предпочтения и, следовательно, разные критерии, их веса и разные базовые шкалы.

При сравнении уже принятых решений и групповом выборе одного из них существенную роль, как правило, имеют не только качество решений, но и амбиции руководителей, лоббируемые интересы и т.п. факторы. Поэтому, предлагается не сравнивать варианты предлагаемых решений, а согласовывать «веса» критериев и характеристики базовых шкал, предопределяя тем самым значения функций предпочтения, т.е. выбор варианта решения. Причем система поддержки принятия решений предлагает некоторый промежуточный вариант согласования, сближающий точки зрения руководителей, предложенный вариант уточняется, возможно, итеративно, в процессе переговоров по принятию несколькими руководителями группового решения. Одним из таких подходов может быть определение «центра тяжести» «весов» критериев и значений базовых шкал.

#### **Функции агента прогнозирования последствий принимаемых решений.**

Прогнозирование последствий принимаемых решений – задача очень сложная. Она может быть решена моделированием или игровыми методами типа деловых игр, военных штабных игр на картах и т.п. При этом методы оценки этих последствий очень сильно зависят от опыта и менталитета руководителя. Анализ последствий может привести к пересмотру оценок различных факторов, данных руководителем раньше и повлиявших на ранжирование возможных решений.

**Функции агента выбора решения руководителем.** Для уменьшения влияния ошибок, допущенными руководителем в данных им субъективных оценках может быть использована следующая процедура.

1. Система предлагает руководителю несколько вариантов решений, занявших верхние строчки при ранжировании.

2. Если руководитель выбирает одно из этих решений – процедура выбора считается оконченной, если нет – переход к п.3.

3. Система поддержки принятия решений предлагает руководителю последовательность возможных решений в нисходящем порядке ранжирования, пока руководитель сам не проранжирует несколько удовлетворяющих его решений.

4. Система поддержки принятия решений подсказывает руководителю возможные характеристики базовых шкал и оценок «весов» критериев, при которых выбранные руководителем решения, соответствуют его ранжированию.

5. Производится пересчет значений функций полезности вариантов решений, и производится новое ранжирование вариантов, соответствующее предпочтениям руководителя. Переход к п. 3.

Таким образом, человеко-машинная процедура принятия решений с помощью СППР представляет собой циклический процесс взаимодействия человека и компьютера. Цикл состоит из фазы анализа и постановки задачи для компьютера, выполняемой руководителем, и фазы оптимизации (поиска решения и выполнения его характеристик), реализуемой компьютером.

## ГЛАВА 3

### СУБЪЕКТИВНОСТЬ В АНАЛИЗЕ СЛОЖИВШЕЙСЯ ОБСТАНОВКИ

#### 3.1 Оценка обстановки методами интеллектуального анализа данных

Для анализа сложившейся обстановки в настоящее время широко применяются методы, получившие в отечественной литературе название интеллектуального анализа данных (ИАД), этому русскому понятию соответствуют английские термины Data Base Mining (добыча данных), On line Analytical Processing, OLAP (оперативный анализ данных), Knowledge Discovery (обнаружение знаний) или Intelligent Analysis Data (разведывательный анализ данных).

Интеллектуальный анализ данных заключается в применении алгоритмов обработки для выявления скрытых тенденций, закономерностей, взаимосвязей и перспектив развития процесса, учет которых помогает повысить качество принимаемых решений. Все методы, используемые в настоящее время в интеллектуальном анализе данных, являются логическим обобщением различных аналитических подходов, известных уже на протяжении десятилетий. Новизна ИАД заключается в расширении сферы применения этих методов в управлении, которое стало возможно благодаря возросшей доступности данных и удешевлению вычислений. Кроме того, до относительно недавнего времени не существовало компьютерных методов ИАД с дружественным интерфейсом пользователя. Рост интереса к средствам интеллектуального анализа объясняется отчасти и усовершенствованиями в области интерфейса, которые сделали их доступными для использования специалистами деловой сферы, но, главным образом, возросшими требованиями к результатам анализа, резким увеличением объема перерабатываемой информации, усложнением решаемых задач и временными ограничениями анализа обстановки и принятия решений.

Широкое использование методов интеллектуального анализа данных – очередной этап процесса, развивающегося с начала XX века, но получившего особое значение в связи с широким использованием вычислительной техники в управлении.

Интеллектуальные системы компьютерного анализа данных могут основываться на двух подходах. Первый заключается в том, что в системе фиксируется опыт эксперта, который и используется для оценки создавшейся ситуации. На этом подходе основывается построение экспертных систем.

Второй подход базируется на анализе исторических данных, описывающих поведение изучаемого объекта, принятых в прошлом решениях, их результатах (например, анализе временных рядов стоимости валют и акций, статистики продаж различного рода товаров, результатов выборов и т.п.).

Наконец, существует третий подход – комбинация первых двух: результаты, полученные при анализе исторических данных, оцениваются на основе опыта эксперта.

В последнее время резко возрос интерес ко второму и третьему подходам. Это объясняется тем, что в связи с резким усложнением управленческих задач возникли новые потребности в глубоком анализе поступающей и хранящейся в базах данных информации, выполняемой в реальном масштабе времени.

Несколько слов о самом термине ИАД. Он кажется несколько рекламным. Первая вычислительная машина была создана для расчета атомной бомбы. Эти расчеты

производили высококвалифицированные специалисты до и после создания ЭВМ. Но, несмотря на это, методы расчета атомной бомбы на ЭВМ никто не называл интеллектуальными. Методы, применяемые в ИАД, например, статистический анализ данных, генетические алгоритмы, кластеризация и др. (см. раздел 3.2), едва ли более «интеллектуальны», чем математические методы, используемые в других областях применения компьютерных вычислений. Но поскольку термин устоялся, мы тоже будем его использовать.

Часто в ИАД различают три аспекта, показанных на рис. 3.1 [3.1].



Рис. 3.1

Использование методов интеллектуального анализа данных порождает проблему субъективного выбора метода и требуют, как это ни странно, субъективного критического осмысления результатов анализа [3.2].

Необходимо отметить, что проблема адекватности модели и выбора метода стояла всегда. Но после появления парадигмы ИАД и придания анализу данных прекрасного, удобного и выразительного интерфейса, специалист, принимающий решение, оказался один на один с вычислительной машиной. Эта проблема оказалась для него скрытой, и он перестал чувствовать необходимость выбора метода и понимания его положительных и отрицательных свойств, а также влияние характеристик метода, например выбор метрики, на конечный результат расчета.

Дело в том, что различные методы интеллектуального анализа данных, примененные к одним и тем же данным, могут дать различные результаты. В качестве примера, поясняющего это утверждение, рассмотрим управление портфелем из двух акций российских предприятий: Мосэнерго (MSNG) и «Норильский никель» (NKEL) [3.3]. Пусть для простоты на каждую из этих акций отводится половина портфеля и можно их продать или купить на сумму, равную половине стоимости портфеля. Для выработки правил, определяющих условия, при которых акции надо покупать или продавать, использовалась история рынка за период с 1 сентября 1995 г. по 5 января 1997 г. Для проверки полученной информации был взят период с 6 января 1997 г. по 28 февраля 1997 г.

Задача решалась с помощью шести систем: SIPINA – дерево решений, GeneHunter – генетический алгоритм, NeuroShell (Neuronet) – нейросеть, в которой зависимость ищут в форме полиномов, Unica – метод «ближайшего соседа», Polyanalyst – система, находящая многофакторные зависимости между различными переменными в базах данных [3.4].

Для оценки экономического эффекта применения перечисленных выше методов был построен график, характеризующий разницу в управлении пакетом акций, показанный на рис. 3.2 [3.3]. Из него видно какой результат был бы получен при управлении пакетом акций стоимостью 100 тыс долларов в течение тестового периода каждым методом. Положительные результаты продемонстрировали методы Polyanalyst и Unica. Метод NeuroShell к убыткам бы не привел, но и дохода бы также не принес. Применение остальных 3-х методов привело бы к убыткам.

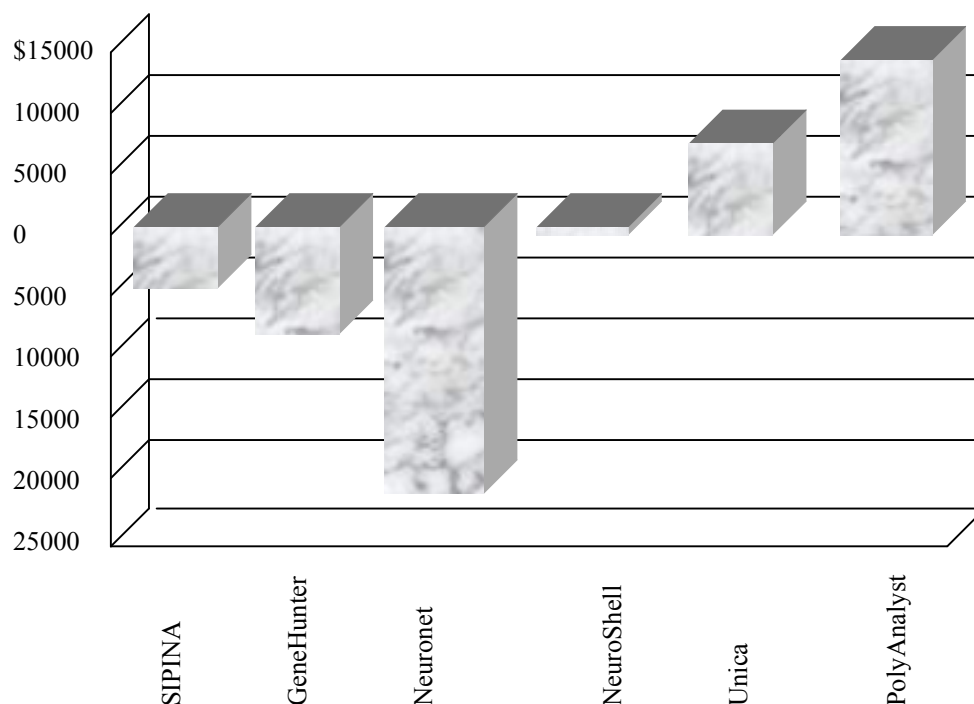


Рис. 3.2

Этот пример является прекрасной иллюстрацией мысли известного ученого Р.В. Хемминга: «Цель расчетов – не число, а понимание» [3.4].

Методы, аппаратные и программные средства, используемые в ИАД, в настоящее время достаточно развиты. Одним из таких средств являются ситуационные комнаты. В России они уже имеются в некоторых государственных структурах, в частности, есть ситуационные комнаты Президента РФ, в Министерстве по чрезвычайным ситуациям и других организациях [3.5]. Так в ситуационном центре Президента РФ расположены три экрана размером 1,5x2 м, более десятка рабочих станций (студий нелинейного монтажа, графических станций, компьютеров для подготовки презентаций), мощные серверы, хранящие огромные объемы информации. На этой аппаратуре работает большой набор программных инструментальных средств, позволяющих обрабатывать поступающую информацию и представлять ее президенту [3.5].

Создаются такие центры и в некоторых крупных промышленных корпорациях. Так в ситуационной комнате нефтедобывающей корпорации Техасо установлен экран 25x6 футов (7,63x1,83 м) [3.6]. Ситуационная комната связана практически со всеми

отделениями компании, работающими в 150 странах, включая Россию. Однако ситуационные центры достаточно дороги, поэтому в большинстве случаев, их пока заменяют компьютеры на столах руководителей или экспертов, оснащенные развитыми инструментальными средствами анализа ситуаций (объектов) и просчета вариантов решений.

Методы ИАД реализуются в настоящее время посредством многочисленных программных систем, получивших широкое распространение. Эти программные системы (или их комбинации) обеспечивают комплексное решение задач от сбора и проверки правильности поступающей в базу данных информации до анализа данных. Как правило, все эти системы обладают очень дружественным интерфейсом, однако использование некоторых методов ИАД невозможно без специальной подготовки. На рис. 3.3 показана комбинация систем, выполняющих такую комплексную задачу. [3.7].

<b>Impromptu</b>	<b>PowerPlay</b>	<b>Scenario</b>	<b>4 Thought</b>
Отчеты по базам данных	Многомерный OLAP анализ	Анализ значимых факторов и выявление зависимости	Моделирование и прогноз

*Рис. 3.3*

Система Impromptu выполняет служебные функции, обеспечивая доступ к базам данных и формирование отчетов.

Система PowerPlay представляет собой средство для проведения OLAP-анализа, обеспечивая многомерный просмотр данных с нисходящим и уровневый анализом. Она позволяет выявлять и отмечать в просматриваемых отчетах исключения и особые случаи, ранжировать данные и проводить вычисления над массивами данных.

Системы Scenario и 4Thought являются системами ИАД. Они решают следующие типичные задачи: прогнозирование (путем анализа данных за ближайшие предшествующие периоды), маркетинговый анализ (на основе анализа влияния отдельных факторов на уровень продаж), анализ работы персонала (на основе анализа личностных характеристик), профилирование клиентов и т.д.

Одной из основных характеристик, присущей подавляющему большинству систем интеллектуального анализа является визуализация. Программы визуализации данных в каком-то смысле не являются средством анализа информации, поскольку они только представляют ее пользователю, но многомерное графическое представление данных позволяет ему в некоторых случаях самому выявлять закономерности: характеристики процессов или объектов и взаимовлияния на них отдельных факторов.

В настоящее время разработано большое число инструментальных средств для визуализации данных. Достаточно типичными являются инструменты визуализации в системе MineSet [3.8, 3.9]. Система включает в себя пять инструментов визуализации.

Внимание, уделяемое методам визуализации не случайно. Наглядность, выразительность и характер представления информации руководителю могут существенно помочь ему правильно проанализировать и понять возникшую ситуацию или, наоборот, ввести в заблуждение. Поэтому методам представления результатов анализа, в том числе и мультимедийным методам, в настоящее время уделяется серьезное внимание, и на их развитие затрачиваются большие усилия и средства.

### **3.2 Отображение субъективных представлений в методах интеллектуального анализа данных**

Выше уже отмечалось, что интеллектуальный анализ данных появился в результате симбиоза средств вычислительной техники, программных технологий и математи-

ческих методов. В ИАД используются как сравнительно новые подходы, такие как генетические алгоритмы, нейронные сети, нечеткие множества так и вполне традиционные, имеющие длительную историю развития, такие как статистика. Хотя между этими методами не всегда можно установить точный водораздел (так генетические алгоритмы используют статистические оценки и правила вывода, то же можно сказать и о нечеткой логике и т.д.), но все же границы между ними существуют. Этого нельзя сказать о границах использования различных методов в приложении. Анализ одной и той же ситуации может быть произведен различными методами и, что очень важно, результаты анализа, проведенные одним методом, могут сильно отличаться от результатов анализа той же ситуации, проведенного другим методом. Выбор метода всегда определяется специалистом.

Приведенное ниже описание методов носит справочный характер и предназначено для того, чтобы читатель получил самое общее представление о методе, если он с ним незнаком или вспомнил некоторые принципы и формулы, если он с этими методами встречался раньше. Сделана попытка показать, как в перечисленных выше методах отображаются субъективные предпочтения специалиста, использующего эти методы.

### *А. Генетические алгоритмы*

Идея использования генетических алгоритмов может рассматриваться как разновидность метода случайного поиска. Наименование генетический алгоритм происходит из аналогии представления сложной структуры посредством вектора ее компонентов, которое широко используется биологами для представления генетической структуры хромосом. При селекции животных и растений предполагается, что потомство будет обладать желательными характеристиками, определяемыми на генетическом уровне комбинацией хромосом родителей. Аналогично в процессе анализа и решения сложной проблемы мы часто интуитивно комбинируем известные частичные решения, пытаемся найти решение общей задачи как комбинацию частных решений, предполагая при этом, что комбинация, состоящая из лучших вариантов, даст лучшее решение. Аналогия не вполне точная, но полезная для понимания идеи генетического алгоритма.

Таким образом, в методе генетических алгоритмов сразу встает вопрос какие параметры или характеристики при анализе ситуации следует варьировать, а какие сохранить без изменения. От этого, конечно, зависят и результаты анализа.

Чаще всего используется два генетических оператора: crossover (перекрестный обмен) – обмен секциями хромосом родителей и mutation (мутация) – случайная модификация хромосом. Операция «мутация», видимо не требует пояснений, но пользоваться ей можно только в том случае, если модификация гена содержательно допустима. Простой пример операции перекрестного обмена дан на рис. 3.4.

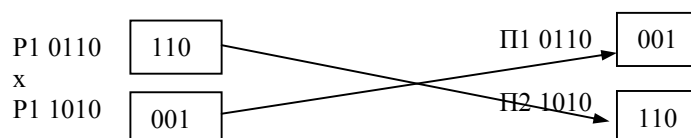


Рис. 3.4

Приведем еще один пример перекрестного обмена, представив хромосомы в виде деревьев, описывающих арифметические выражения [3.10], показанные на рис. 3.5.

Узел «родитель 1» представляет арифметическое выражение  $(+ a (* bc))$ , а узел «родитель 2» – выражение  $(- (/ y (+ 5z)))x$ , после перекрестного обмена узел «потомок

1» представляет выражение  $(+ a (/ y (+ 5z)))$ , а узел «потомок 2» – выражение  $(- (* bc)x)$ . Здесь гены представлены символами арифметических операций, буквами и цифрами, они могут быть представлены и строкой символов.

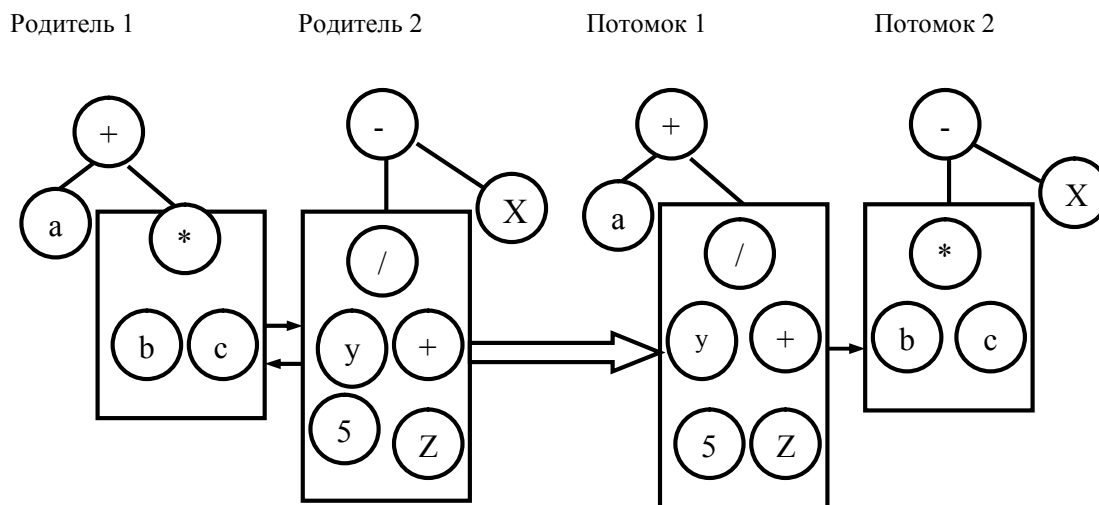


Рис. 3.5

В настоящее время предложено много модификаций операций перестановки в комбинации с операциями мутации [3.10 – 3.15].

В теории генетических алгоритмов широко используется понятие схема, что значит вид или форма. Поясним это понятие следующим примером. Пусть две хромосомы, состоящие из 0 и 1, представлены следующими векторами на рис. 3.6.

$$\begin{array}{r} 1010001 \\ 1111010 \\ \hline 1*1*0** \end{array}$$

Рис. 3.6

Тогда схема для этого примера показано под чертой. В схеме символ \* может быть заменен любым символом из используемого алфавита. В нашем случае нулем или единицей. Схема может рассматриваться как определение подмножеств подобных хромосом или гиперповерхностей в  $n$ -мерном пространстве. Легко представить, что каждая из хромосом может принадлежать и некоторым другим схемам. Некоторые из этих схем будут включать обе хромосомы, другие только одну. Каждый раз когда определяется годность данной хромосомы, собирается информация о возможной годности каждой схемы, которой принадлежит хромосома. Конечно возникает вопрос сколько схем следует проанализировать. Такие оценки сделаны, например, в [3.13] и они показывают, что перебор может оказаться достаточно большим. Одним из путей сокращения перебора – ужесточение произвола в схемах, т.е. уменьшение в них символов \* и сокращение числа самих схем. Характеристиками схем являются длина и порядок. Длина определяется числом позиций между первой и последней (т.е. не \*) позициями в схеме, а порядок числом определенных (не \*) позиций. Другой характеристикой является отношением годности, т.е. присутствие схемы в популяции схемы.

Операции мутации и перекрестного обмена, выбор родителей и использование схем являются инструментом влияния специалиста на ход анализа. Допуская или запрещая мутации определенных генов хромосомы и определяя точки, вокруг которых

осуществляется перекрестный обмен, специалист влияет на результаты анализа ситуации и/или оценку последствий тех или иных событий.

Поясним алгоритм работы генетического алгоритма на примере нахождения максимума простой функции [3.13]:

$$f(x) = x^3 - 60x^2 + 900x + 100.$$

Это не комбинаторная задача, но она лучше, чем комбинаторная иллюстрирует основные черты генетических алгоритмов, характерные для оптимизационных задач.

Для простоты положим, что максимум ищется в интервале простых чисел [0, 31]. Легко найти, что функция  $f(x)$  имеет максимум при  $x=10$  и минимум при  $x=30$ . Будем представлять  $x$  в двоичном формате 5-битовой строкой. Пусть генератором случайных чисел получено пять строк и результаты показаны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№	строка	$x$	$f(x)$	$P$
1	10011	19	2399	0.206
2	00101	5	3225	0.277
3	11010	26	516	0.044
4	10101	21	1801	0.155
5	01110	14	3684	0.317
			$\Sigma=11622$	
			среднее значение	2325

Рассматривая значения  $f(x)$  как значения годности, будем считать, что вероятность выбора каждой строки первого родителя прямо пропорциональна его значению  $f(x)$ . Вероятность выбора будем считать равной  $P = \frac{f(x)}{\sum}$  (хотя она может считаться

различными способами). Она показана в последнем столбце табл. 3.1. Считая распределение  $P$  равномерным, будем выбирать строки для первого родителя в соответствии со значениями  $P$  (5-ый столбец табл. 3.1), а для второго родителя – используя дискретное равномерное распределение  $f(x)$  (4-ый столбец табл. 3.1). Оба распределения идентичны, но так как выборки случайные, то будут получены разные результаты. Точки перекрестного обмена также выбираются случайным образом. Вероятность мутации положим равной  $P_m = 0.02$ . Результаты эксперимента показаны в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Шаг	Родитель 1	Родитель 2	Точка перекрестного обмена	Мутация	Строка	$f(x)$	
1	1	2	4	нет	10011	2399	
2	5	3	2	нет	01010	4100	
3	5	2	3	нет	01101	3857	
4	4	2	1	нет	10101	1801	
5	2	5	4	нет	00100	2804	
						Среднее значение	2992

На таком небольшом примере трудно показать всю силу генетического алгоритма. Например, относительная частота выбора не вполне соответствует значению  $P$ , не показан эффект мутации. Однако уже из примера видно, что самая хорошая хромосома выбирается в качестве первого родителя чаще всего, а самая плохая – 3-я не выбирается вообще. Среднее значение растет и приближается к максимуму, и на следующих шагах



достигло бы его. Заметим, что в этом иллюстративном примере результат известен заранее, поэтому влияние на него специалиста показать нельзя. Значение  $P_i$  может выбираться различными способами.

Существенную роль в генных алгоритмах имеет управление мутациями, осуществляемое специалистом в соответствии со своими субъективными предпочтениями. Оно заключается в определении:

- мест мутируемых генов в хромосоме;
- числа мутируемых генов на одном шаге локального поиска;
- максимально допустимого числа идущих подряд безуспешных попыток улучшить результаты локального поиска.

Очевидный дефект, с точки зрения оптимизации, рассмотренной выше процедуры генетического алгоритма, заключается в том, что лучший экземпляр, полученный в процессе эволюции, может не выжить в ходе дальнейших процедур. Для предотвращения этих и некоторых других сложностей используются специальные приемы.

Заметим, что при генерации вариантов решений с помощью генетического алгоритма одновременно с генерацией происходит оценка сначала родителей, а потом потомков, когда они оказываются в роли родителей. Таким образом, два процесса: собственно генерация и оценка варианта оказываются неразрывно связаны, хотя конечно, алгоритм или функция оценки определяется заранее.

Таким образом, для интеллектуального анализа методом генетических алгоритмов необходимо:

1. задать исходный список генов, из которых возможно сгенерировать хромосому, описывающую вариант ситуаций или объектов;
2. задать функцию или алгоритм оценки этих хромосом;
3. с помощью операторов генетических алгоритмов создать новый список генов-претендентов на включение в хромосомы;
4. оценить новые хромосомы с помощью заданной функции или алгоритма;
5. выбрать лучшие варианты. Если один из них удовлетворяет руководителя или специалиста – процесс закончен, если нет – повторяются пункты 1-5.

Ясно, что при реализации пунктов 1-5 субъективное представление специалиста оказывает значительное влияние на результат анализа или прогноз.

### ***В. 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) одновременно и быстро выполнение многочисленных идентичных и независимых операций [3.16].

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  $\alpha_{ij}$  (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  $\alpha$ . 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  $\varphi_i(s)$  [3.17]:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-ks}}, \quad y = s(1 + k|s|) \quad (k > 1, |s| - \text{абсолютная величина } s),$$

$$y = s \frac{x}{c + |x|}, \quad y = s|x|, \quad y = sx^2, \quad y = th(x) \text{ и т.д.}$$

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 невозможно предложить единую систему стандартных функций, пригодную на все случаи – для каждой области приложений обычно выбирается своя функция [3.18].

Хотя одноэлементные нейронные системы имеют достаточно широкую область применения [3.17], 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,
- функционирования.

На рис. 3.7 [3.16] показан этап обучения, в процессе которого сравниваются выходные значения ( $\bar{Y}$ ), полученные сетью, и реальные данные ( $\bar{z}$ ) моделируемой системы. На этапе обучения происходит вычисление весовых коэффициентов  $\alpha_{ij}$ . Нужный ответ определяется не по правилам, а при помощи примеров, сгруппированных в обучающие множества. Вектор исходных данных из обучающего множества подается на вход сети и блок данных модели. Блок данных моделируемой системы и сеть подают свои результаты на выходной узел. Выходной узел определяет величину ошибки  $\bar{\varepsilon}$  и передает ее на алгоритм обучения, который изменяет значения синоптических коэффициентов.

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 рассматривается как решение оптимизационной задачи: минимизация функции ошибки или несвязки  $\bar{\varepsilon}$  на данном множестве примеров путем выбора значений весов  $\alpha_{ij}$ . Разработано уже более сотни обучающих алгоритмов, отличающихся друг от друга стратегией оптимизации и критерием ошибки (функцией). Выбор алгоритма обучения также зависит от знаний и опыта специалиста.

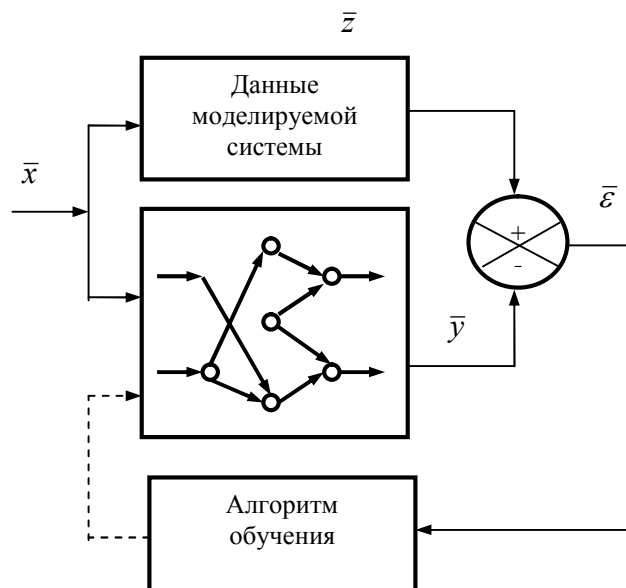


Рис. 3.7

Наиболее распространенным алгоритмом обучения нейронных сетей с прямой связью является алгоритм обратного распространения ошибки (Backpropagation – *BP*) [3.17]. В алгоритме *BP* длина шага выбирается в направлении, обратном градиенту, и ошибка передается в направлении, обратном поступившим на нейрон сигналам. Он является алгоритмом градиентного спуска, минимизирующего суммарную квадратичную ошибку.

$$E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_k (z_k^i - y_k^i)^2,$$

где индекс  $i$  пробегает все выходы многослойной сети. По некоторым оценкам [3.19] этот алгоритм используется в 90% практических приложениях и является наиболее стабильным в работе, хотя и не совсем точным. Алгоритм используется в двух вариантах: или веса пересчитываются после очередного образца, или в «эпохальном» варианте, когда веса меняются после просчета всего обучающего множества. Процесс обучения повторяется до тех пор, пока суммарная ошибка на всех предъявляемых примерах не станет меньше некоторой заданной величины и завершается, когда функция, реализуемая нейросетью, приближает неизвестную функцию на обучаемом множестве с заданной точностью.

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.

Рассмотрим несколько примеров методов работы нейросети, часто используемые в приложениях.

Задачи прогноза в нейронных сетях часто формализуются как вероятностная задача [3.17] классификации с учителем. Оптимальный классификатор при статистиче-

ском определении вероятностей относит вектор  $x$  к классу, который назовем  $c_i$  по решающему правилу Байеса:  $x$  принадлежит  $c_i$ , если

$$P(c_i|x) > P(c_j|x), \quad \forall i \neq j,$$

где  $i, j$  – номера классов, а для априорных вероятностей  $x$  принадлежит  $c_i$ , если

$$P(x|c_i)P(c_i) > P(x|c_j)P(c_j).$$

Это правило оптимально в том смысле, что минимизирует среднее число неправильных классификаций, и оно определяет в какой класс (класс потерь, класс выигрыша и т.д.) попадет объект, описанный заданным множеством параметров (характеристик).

В непараметрических способах никаких предположений о плотности вероятности не требуется. В методе  $K$ -ближайших соседей ( $KNN$ ) вычисляется расстояние между вновь поступившим образцом и векторами обучающего множества, после чего образец относится к тому классу, к которому принадлежит большинство из  $k$  его ближайших соседей.

Существует огромный произвол в выборе разделяющих функций, ограниченный лишь фантазией и здравым смыслом исследователей, а также (в меньшей степени) техническими возможностями. Ясно, что выбор одного из этих алгоритмов также определяется субъективными представлениями специалиста и влияет (иногда весьма серьезно) на результат работы нейронной сети.

При применении нейронных сетей к практическим задачам анализа данных выявляется ряд недостатков. Архитектура сети порождает сложные нелинейные разделяющие поверхности входов. В сети с одним скрытым слоем векторы входов преобразуются в новое пространство представлений, а затем гиперплоскости, соответствующие выходным узлам располагаются так, чтобы разделить классы в новом пространстве. Тем самым, сеть распознает уже другие характеристики, полученные в скрытом слое, поэтому задача интерпретации работы сети, выяснения структуры аппроксимируемой функции становится нетривиальной, требующей дальнейшего исследования.

Роль субъективных оценок эксперта или руководителя при работе с нейронными сетями покажем на примере построения классификатора.

Основными этапами построения классификатора на основе нейронной сети являются [3.19]:

1. Составление базы данных из примеров и разбиение базы на два множества: обучающее и тестовое.

2. Предварительная обработка: а) Выбор системы признаков, характерных для данной задачи. Преобразование данных для подачи на вход сети (нормировка, стандартизация и т.д.). б) Выбор системы кодирования выходного значения или значений.

3. Конструирование, обучение и оценка качества сети: а) Выбор топологии сети: число элементов и структуры связей (входы, слои, выходы). б) Выбор функции активации. в) Выбор алгоритма обучения. г) Оценка качества работы сети (по подтверждающему множеству) с целью оптимизации архитектуры сети (уменьшение весов, прореживание весов и т.д.). д) Выбор варианта сети с наилучшей способностью к обобщению.

4. Интерпретация результатов и анализ (диагностика): выяснение степени влияния различных факторов на решение (эвристики).

Из пунктов 1-4 построения классификатора видно, как велика роль субъективного представления специалиста в результатах классификации нейронной сетью.

### ***С. Кластеризация***

Методы кластерного анализа позволяют разбить изучаемую совокупность объектов на группы «схожих» объектов, называемых кластерами.

Процесс кластерного анализа состоит из следующих этапов:

- создание набора данных, подлежащих анализу,
- определение границ или других характеристик, определяющих класс данных (кластер),
- разбиение исходных данных на кластеры,
- построение иерархии кластеров.

Создание набора данных, определение границ и характеристик кластеров, выбор алгоритмов кластеризации и методов построения их иерархий зависит главным образом от опыта, знаний и субъективных представлений эксперта или руководителя.

Большинство методов кластеризации (иерархической группировки) являются агломеративными (объединительными) - они начинают с создания элементарных кластеров, каждый из которых состоит ровно из одного исходного наблюдения (одной точки), а на каждом последующем шаге происходит объединение двух наиболее близких кластеров в один. Момент остановки этого процесса может задаваться экспертом (например, указанием требуемого числа кластеров или максимального расстояния, при котором допустимо объединение). Графическое изображение процесса объединения кластеров может быть получено с помощью дендрограммы – дерева объединения кластеров. Другие методы кластерного анализа являются дивизивными (разделительными) – с их помощью пытаются разбивать объекты на кластеры непосредственно.

Одним из способов кластеризации объектов или ситуаций могут быть правила вывода. Правила вывода анализируют входные данные по заранее определенным алгоритмам. Обычно различают такие алгоритмы для детерминированных данных и данных, носящих вероятностный характер.

Начнем с кластеризации детерминированных данных. Алгоритмы анализа этих данных могут быть описаны с помощью грамматик, графов или матриц инцидентий. Все три метода идентичны в том смысле, что каждое из этих представлений может быть преобразовано в любое другое. Самая примитивная, но часто употребляемая форма грамматического описания это «Если ..., то ....». Правила вывода широко используются в экспертных системах для технической, медицинской диагностики и других приложений в тех случаях, когда удается достаточно четко провести границу между пространствами, которые необходимо разделить для определения принадлежности объекта или процесса к некоторому классу (кластеру). В тех случаях, когда это сделать не удается, приходится прибегать к более сложным формам описания и методам оценки.

Применение правил вывода поясним на иллюстративном примере определения класса потребителя. Правила составляются заранее и записываются в базу знаний. Эти правила могут быть представлены в виде графа, матрицы инцидентий или набора грамматических правил.

Начнем с представления кластеризатора в виде графа, показанного на рис. 3.8. Он может быть построен на дисплее. Конечно, для построения такого простого графа никакие формализмы не нужны. В сложных случаях они оказываются очень полезными. На этом графе или на отдельных таблицах должны быть проставлены границы, разделяющие категории опта, мелкоопта и розницы. Например, приобретение товара на сумму выше 100 тыс. рублей – это опт, от 99 тысяч до 5 тысяч – мелкий опт и меньше 4 999 рублей – розница. Такие границы могут определяться законами, техническими стандартами или субъективными представлениями экспертов (руководителей). Граф рис. 3.8 может быть задан в виде матрицы инцидентий, показанной в табл. 3.3. Она

может оказаться более удобной для построения, чем граф, и, главное, легко может быть введена в ЭВМ для анализа.

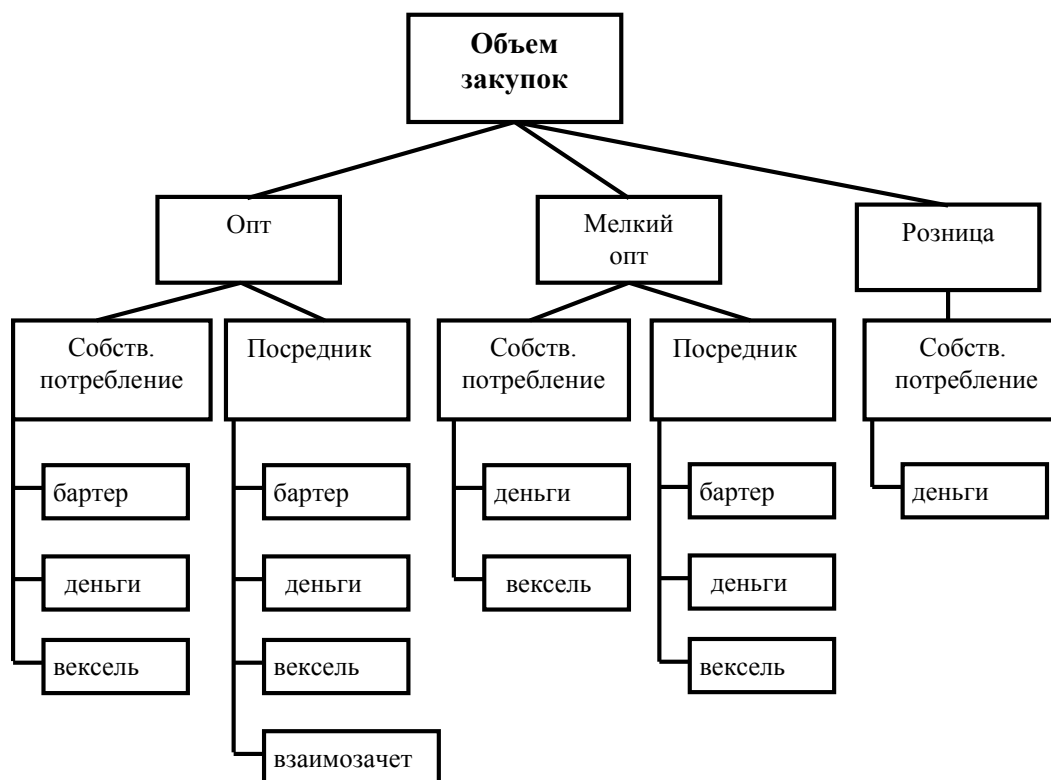


Рис. 3.8

Наконец, третьей формой представления может быть описание графа с помощью грамматики, показанной на рис. 3.9.

Грамматическая форма может быть компактнее, чем матрица инцидентии и также как матрица инцидентий храниться в машине для анализа характера потребителя. Категорию потребителя, в нашем случае, система ИАД определяет по трем параметрам: сумма покупки, характер платежа и цель приобретения и классифицирует на 13 категорий потребителей. Принадлежность к той или иной категории потребителей может определять политику фирмы к клиенту.

```

<объем закупок> = <опт> | , <мелкий опт> | <розница>
<опт> = <опт - собственное потребление> | <опт-посредник>
<мелкий опт> = <мелкий опт - собственное потребление> | <мелкий опт-
посредник>
<розница> = <розница - собственное потребление>
<опт - собственное потребление> = <бартер> | <деньги> | <вексель>
<опт - посредник> = <бартер> | <деньги> | <вексель> | <взаимозачет>
<мелкий опт - собственное потребление> = <деньги> | <вексель>
<мелкий опт - посредник> = <бартер> | <деньги> | <вексель>
<розница - собственное потребление> = <деньги>
  
```

Рис. 3.9

Таблица 3.3

	Опт	Мелкий опт	Розница	Собств. погрел.	Посред- ник	Бартер	Деньги	Вексель	Взаимо- зачет
Объем за- купок	х	х	х						
Опт				х	х				
Мелкий опт				х	х				
Розница				х					
Опт – собств. по- ребление						х	х	х	
Опт - посредник						х	х	х	х
Мелкий опт–собст. потреб							х	х	
Мелкий опт -посредник						х	х	х	
Розница собств. по- ребление							х		

Заметим, что приведенная выше грамматика легко может быть записана в форме «Если ..., то ...», «Если стоимость закупок больше 100 тыс. рублей, то опт», «Если стоимость закупок меньше 100 тыс. рублей, но больше 5 тыс. рублей, то мелкий опт» и т.д. Эта форма более громоздка, чем грамматическая запись рис. 3.9, но более наглядна, так как информация записывается в явном виде (например, при каких суммах закупок клиент относится к розничному торговцу), а не в отдельные таблицы, являющиеся необходимым дополнением грамматики рис. 3.9 или табл. 3.3.

Естественно, если такая классификация окажется слишком грубой, она может быть детализирована по номенклатуре продаваемого товара, объему продаж, их регулярности, своевременности оплаты и т.д. Часть данных может быть представлена в виде следующих ярусов графа рис. 3.8 (расширения матрицы или набора грамматических правил табл. 3.3 и рис. 3.9), а часть в виде данных, хранящихся в таблицах и/или представленных на дисплее в вершинах графа.

При анализе данных, носящих вероятностный характер, правила классификации могут быть представлены так же, как и в детерминированном варианте. Но так как в этом случае анализ проводится не по одному сигналу (одному значению или одному вектору поступивших данных), а по некоторому множеству, то встает задача определения их диапазона, нахождения среднего, учет размеров выборки и т.д. Эксперт может просматривать на экране все статистики, вычисляемые в ходе кластеризации, например [3.20]:

- $P$  – значимость (вероятность гипотезы о значимости фактора) или уровень значимости для вершины графа;

- значение  $F$ -статистики и степени свободы;
- точность локальной регрессии на аналитических и тестовых данных и т.д.

Если эксперт посчитает нужным, он может вмешаться в вычислительный процесс.

Заметим, что по статистическим данным системы ИАД могут сами строить графы типа рис. 3.8 или таблицы типа табл. 3.3. Но эту проблему мы рассматривать не будем. К сожалению, методы кластерного анализа не дают какого-либо способа для проверки статистической гипотезы об адекватности полученных классификаций.

Существует третий подход к кластеризации [3.21, 3.22]. Классификация объектов производится на основе накопленных детерминированных данных. При этом способы определения близости между кластерами и между объектами достаточно разнообразны, и их выбор определяется экспертом. Например:

$d_\varepsilon(x_i, x_j) = \sqrt{(x_i^{(1)} - x_j^{(1)})^2 + (x_i^{(2)} - x_j^{(2)})^2 + \dots + (x_i^{(n)} - x_j^{(n)})^2}$  – мера близости между объектами, а между кластерами:

$$\rho(s_l, s_m) = \frac{1}{n_l n_m} \sum_{x_i \in s_l} \sum_{x_j \in s_m} d(x_i, x_j),$$

где  $s_l - l$  ая группа объектов,  $n_l, n_m$  - число объектов, образующих группы.

Заметим, что результаты кластеризации зависят от выбранного специалистом метода, и эта зависимость тем сильнее, чем менее явно изучаемая совокупность разделяется на группы объектов. Поэтому результаты вычислительной кластеризации могут быть дискуссионными и часто они служат лишь подспорьем для содержательного анализа.

#### ***D. Статистический анализ данных***

Кажется, статистический анализ данных в настоящее время является самым распространенным в интеллектуальном анализе данных. Особенно широкое применение они получили в экономике. Для их реализации в ИАД создано множество пакетов программ.

Статистический анализ данных состоит из следующих этапов:

- создание набора данных и их предобработка. Признаки, описывающие условия функционирования объектов, называются входными аргументами, экзогенными, предикторными, объясняющими признаками. Признаки, характеризующие результаты (эффективность) функционирования, называются выходными, результирующими, эндогенными признаками;
- разведочный анализ данных. Этот этап составляют всевозможные методы предварительного исследования данных с целью выявления специфики их вероятностной и геометрической природы;
- собственно статистический анализ. Полученные данные последовательно обрабатываются по одной или нескольким методикам;
- интерпретация и подведение итогов анализа.

Создание набора данных (выборки) целиком зависит от знаний, опыта и представлений эксперта или руководителя. Так выбором опрашиваемых людей при социологических исследованиях может быть получен любой, в том числе, и заранее заданный результат. Неправильным выбором числа и характера экзогенных признаков можно серьезно исказить сущность анализируемого процесса.

Поскольку статистический анализ данных вполне традиционен, ограничимся кратким напоминанием только наиболее распространенных в ИАД методах [3.23].

1. Проверка предположительных утверждений – гипотез относительно механизмов формирования имеющихся данных.



По своему прикладному содержанию проверяемые гипотезы подразделяются на следующие типы [3.24]:

- об общем виде закона распределения;
- об однородности нескольких групп данных;
- о числовых значениях параметров генеральной совокупности;
- о виде зависимости между факторами;
- о независимости и стационарности ряда наблюдений.

Процедура обоснованного сопоставления гипотезы  $H_0$  с имеющимися данными  $x_1, \dots, x_n$  осуществляется с помощью того или иного статистического критерия и называется статистической проверкой гипотез. Результат может быть отрицательным – данные противоречат гипотезе, и она отвергается, либо неотрицательным, т.е. данные не противоречат высказанной гипотезе. В последнем случае гипотеза признается правдоподобной, может быть, наряду с некоторыми другими.

Опишем коротко логическую схему процедуры проверки гипотезы  $H_0$ .

А. Выбирается некоторая функция от результатов наблюдения  $x_1, \dots, x_n$ ,  $\gamma^n = \gamma(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , называемая критической статистикой.  $\gamma^n$  является случайной величиной, и в предположении справедливости гипотезы  $H_0$  подчинена хорошо изученному за- табулированному закону распределения с плотностью  $f_{\gamma^n}(u)$ . Содержательно эта статистика обычно определяет меру расхождения имеющихся данных с гипотезой  $H_0$ .

В. Задается величина уровня значимости критерия  $\alpha$ , определяющего вероятность ошибочного отклонения проверяемой гипотезы  $H_0$ . Величина  $\alpha$  определяется на основе субъективной оценки эксперта.

С. Из таблиц распределения  $f_{\gamma^n}(u)$  находятся  $100(1-\alpha/2)\%$  точка  $\gamma_{\alpha/2}^{\min}$  и  $100\alpha/2\%$  точка  $\gamma_{\alpha/2}^{\max}$ , разделяющих область значений  $\gamma^n$  на три части (рис. 3.10): область неправдоподобно малых (I), неправдоподобно больших (III) и правдоподобных значений (II) [3.24].

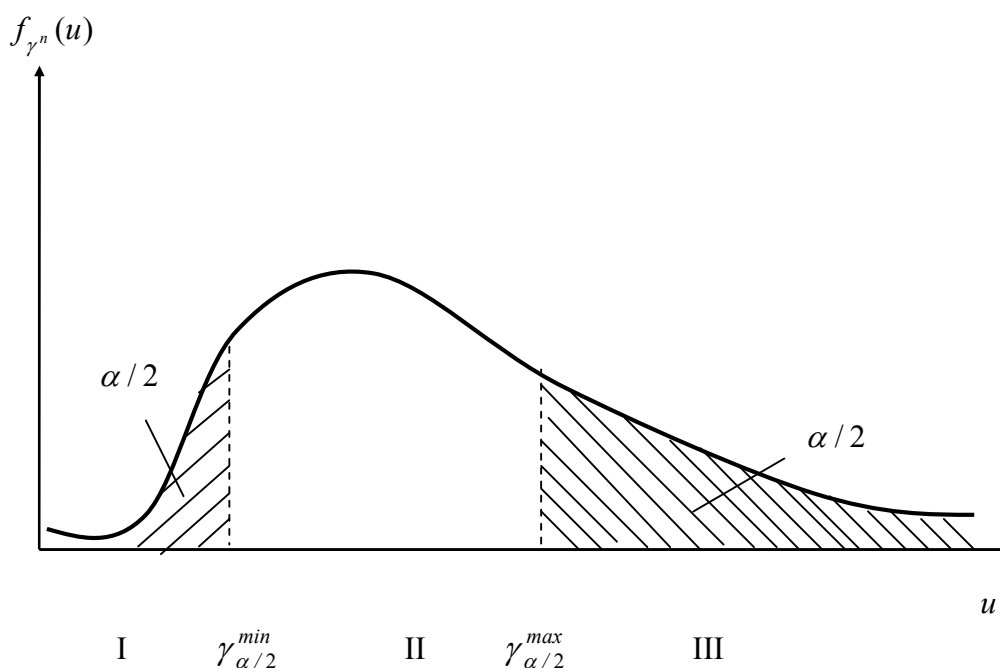


Рис. 3.10

D. По имеющимся данным вычисляется численное значение  $\gamma^n = \gamma(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Если окажется, что полученное значение принадлежит области  $\Pi$ , то гипотеза  $H_0$  не противоречит исходным данным. В противном случае  $H_0$  отвергается.

В математической статистике исследованы многочисленные критические статистики для проверки всех типов гипотез. Широко используются  $t$  – статистика Стьюарта,  $F$  – статистика Фишера,  $\chi^2$ ,  $\omega^2$ , Колмогорова и др.

Если данные извлечены из нормальных совокупностей, могут быть использованы  $t$  и  $F$  – статистики.

2. Регрессионный анализ [3.25] направлен на аппроксимацию функции и выявление зависимостей между входными и выходными переменными.

В общем виде задача аппроксимации ставится так: найти вектор-функцию

$$f(x) = \begin{pmatrix} f_1(x) \\ \cdot \\ \cdot \\ f_k(x) \end{pmatrix},$$

где  $f_i(x)$  принадлежит классу допустимых функций  $F$ , такую, что  $f(x)$  дает наилучшую аппроксимацию выходного  $p$ -мерного вектора  $y$  на исходном множестве точек  $\{x_i\}$   $i=1, \dots, n$ . Для этого вводятся невязки  $\delta_{ki} = \delta(f_k(x_i))$ , характеризующие погрешность оценки результирующего признака  $y_k$  ( $k=1, \dots, p$ ) в точке  $x_i$  и функционал  $\Delta(f) = \Delta\{\delta_{ki}\}$   $k=1, \dots, p$   $i=1, \dots, n$ , определяющий меру адекватности (ошибки). Они во многих случаях определяются на основе опыта и знаний специалистов. Далее решается оптимизационная задача поиска экстремума функции  $\Delta(f)$ , (минимизация ошибки). В регрессионных статистических моделях функция  $f(x)$  определяется как условное математическое ожидание, т.е. модель имеет вид  $y = f(x) = M(y/x)$ . Функцию  $f(x)$  называют регрессией.

В частном случае единственного результирующего признака  $y$  и  $F$  – класса линейных функций получаем линейное уравнение регрессии

$$y = f(x) = M(y|x) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i.$$

Регрессионный анализ выявляет также и статистические связи между переменными. Для этого выбирается измеритель связи (например, коэффициент корреляции), вычисляется его значение и проверяется правильность гипотезы о том, что полученное значение измерителя связи (например, значение коэффициента корреляции) действительно свидетельствует о наличии связи, а не является случайным, вызванным, скажем, флуктуацией измеряемых значений.

3. Дискриминантный анализ [3.26]. Предполагается, что имеется совокупность объектов, разбитая на несколько групп (т.е. для каждого объекта мы можем сказать, к какой группе он относится). Для каждого из этих объектов имеются измерения нескольких количественных характеристик. Методы дискриминантного анализа позволяют отнести произвольный объект к тому или иному классу на основании измерений его количественных характеристик.

Необходимо заметить, что по методам статистического анализа создано очень большое число широко используемых пакетов программ.

### *Е. Нечеткая логика - интерфейс субъективных оценок*

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.

Этот раздел посвящен одному из аспектов создания такого интерфейса – представлению в компьютере нечетких субъективных оценок.

Нечеткая логика, предложенная Заде в 1965г. – 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. Нечеткая логика, как следует из названия, предполагает неточные, приблизительные, примерные, в большинстве случаев субъективные оценки процессов и 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 [3.27 – 3.30].

Начнем с определения нечеткого множества. 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 нечеткой логике мера членства может задаваться на любом интервале, но в большинстве случаев они задаются 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. 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.

На табл. 3.4 показан пример нечетких множеств при определении роста (функции предпочтения даны для двух лиц).

На области возможных значений роста взрослых мужчин построены два нечетких множества (по числу лиц, определяющих функцию принадлежности понятий «высокий», т.е. дающих характеристику роста с их точки зрения). Нечеткие множества обычно строятся на такого рода областях. Каждая точка или диапазон оцениваются

аналогичными функциями принадлежности  $\mu_A(u_i)$ . Заметим, что в табл. 3.4 можно было бы указывать не точки, а диапазоны, например, от 2, 05 м до 2, 15 м. О лингвистических оценках будет сказано ниже.

Таблица 3.4

Рост	1-ое лицо		2-ое лицо	
	$\mu_A(u_i)$	лингвистические оценки	$\mu_A(u_i)$	лингвистические оценки
2, 20 м	1	очень высокий	1	очень высокий
2, 10 м	1	очень высокий	1	очень высокий
2, 00 м	0,8	высокий	1	очень высокий
1, 90 м	0,6	достаточно высокий	0,8	высокий
1, 80 м	0,4	недостаточно высокий	0,5	достаточно высокий
1, 70 м	0,2	невысокий	0,2	недостаточно высокий
1, 60 м	0	низкий	0,1	невысокий
1,50 м	0	низкий	0	низкий

Из табл. 3.7 видно, что каждый из экспертов, оценивающих рост человека имеют свое представление о том, что такое «высокий мужчина». Сам вид функции  $\mu_A(u_i)$ , характеризующий одно и тоже 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. 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 распределения, 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  $\mu_A(u_i)$ .

В нечеткой логике широко применяются разнообразные кванторы. Например, «несколько», «обычно», «главным образом» и т.д. (В четких системах только два квантора: существования и всеобщности). 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:

$$\begin{aligned}
 A \subset B &\leftrightarrow \mu_A(u_i) \leq \mu_B(u_i), \quad \forall u_i \in U \\
 \mu_{\bar{A}}(u_i) &= 1 - \mu_A(u_i), \quad \forall u_i \in U \\
 \mu_{A \cup B}(u_i) &= \mu_A(u_i) \vee \mu_B(u_i) \quad \text{или} \\
 \mu_{A \cup B}(u_i) &= \max \{ \mu_A(u_i), \mu_B(u_i) \}, \quad \forall u_i \in U \\
 \mu_{A \cap B}(u_i) &= \mu_A(u_i) \wedge \mu_B(u_i) \quad \text{или} \\
 \mu_{A \cap B}(u_i) &= \min \{ \mu_A(u_i), \mu_B(u_i) \}, \quad \forall u_i \in U.
 \end{aligned}$$

Могут быть определены и другие операции.

Использование нечетких множеств «в чистом виде» связано с достаточно громоздкими вычислениями и неудобно для восприятия. В то же время семантически, содержательно аппарат нечетких множеств представляет собой очень ценный аппарат для выражения приблизительных и субъективных оценок.

Для сохранения всего ценного, что дают нечеткие множества, и устранения их недостатков были введены лингвистические переменные. Лингвистические переменные легко воспринимаются человеком и позволяют отображать нечеткие множества в множества действительных и целых чисел. Пример такого отображения дан в табл. 3.4.

Лингвистической называется переменная, заданная на некоторой количественной шкале и принимающая значения в виде слов и словосочетаний естественного языка. Значения лингвистической переменной описываются нечеткими переменными. 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.

На рис. 3.11 показаны три шкалы, характеризующие себестоимость  $1\text{ м}^3$ /нефти, удельные капитальные затраты и прирост нефтеотдачи.

50	75	100	150	200	Себестоимость $1\text{ м}^3$ доп. добычи нефти
нет	умеренная	высокая	оч. высокая		Лингв. переменные
5	4	3	2		Синонимы оценок-баллы

50	70	90	110	130	140	150	170	190	210	220	Удельные кап. затраты
незначит.	умеренные		приемлемые		высокий			оч. выс.			Лингв. переменные
5	4		3		2			1			Синонимы оценок-баллы

0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	Прирост нефтеотдачи в %
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		Синонимы оценок-баллы

Рис. 3.11

Объединяя эти три базовые шкалы, получим трехмерное базовое пространство – (себестоимость  $1\text{ м}^3$ ) x (удельные капитальные затраты) x (прирост нефтеотдачи), показанное на рис. 3.12 (лингвистические переменные и баллы на рис. 3.12 не показаны, чтобы его не загромождать, но они те же, что и на рис. 3.11).

Для облегчения работы специалиста в системе ИАД целесообразно дать ему возможность ввести наборы синонимов, с помощью которых эксперт или руководитель

мог бы давать свои оценки, осознавая их эквивалентность. В этом случае система ИАД понимала бы равнозначность оценок.

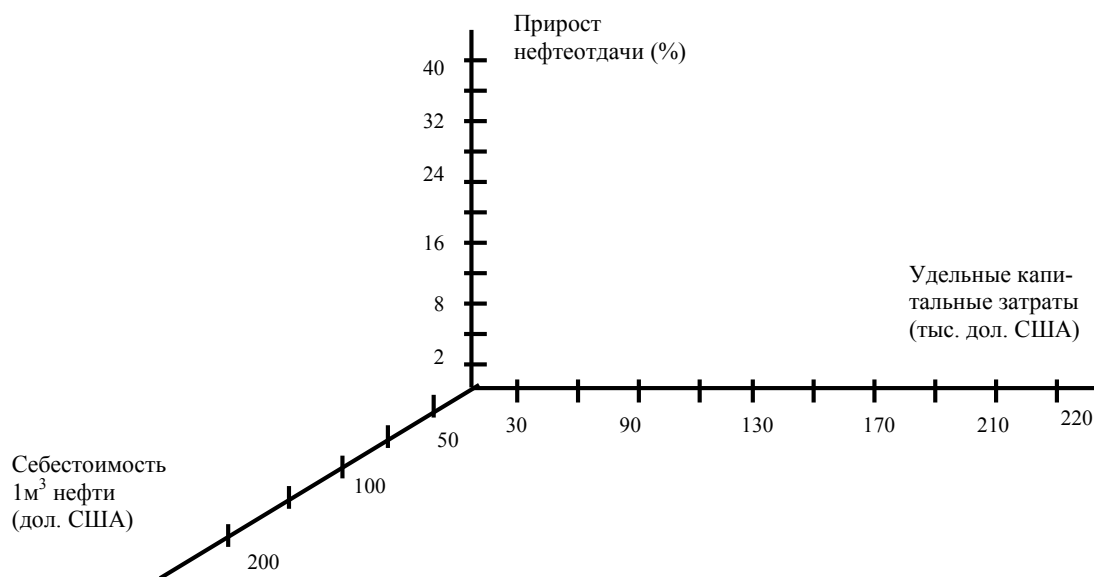


Рис. 3.12

Примеры таких наборов синонимов даны в табл. 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5

очень плохо	не имеет значения	очень слабый	не влияет
плохо	имеет некоторое значение	слабый	незначительно
удовлетворительно	имеет значение	средний	частично
хорошо	важно	сильный	не полностью
отлично	очень важно	очень сильный	полностью

Конечно, если можно построить более точную модель своих предпочтений (аналитическую, алгоритмическую и т.п.), этим необходимо воспользоваться.

Таблица 3.6

$\alpha$ эквивалентно $\beta$	$\alpha$ и $\beta$ одинаково важны	$\alpha$ и $\beta$ одинаковы	$\alpha$ и $\beta$ одинаковы
$\alpha$ несколько предпочтительнее $\beta$	$\alpha$ важнее $\beta$	$\alpha$ слегка лучше $\beta$	$\alpha$ слегка хуже $\beta$
$\alpha$ существенно предпочтительнее $\beta$	$\alpha$ существенно важнее $\beta$	$\alpha$ лучше $\beta$	$\alpha$ хуже $\beta$
$\alpha$ очень сильно предпочтительнее $\beta$	$\alpha$ значительно важнее $\beta$	$\alpha$ значительно лучше $\beta$	$\alpha$ несравненно хуже $\beta$
$\alpha$ несравненно предпочтительнее $\beta$	$\alpha$ несравненно важнее $\beta$	$\alpha$ несравненно лучше $\beta$	$\alpha$ несравненно хуже $\beta$

Отметим разницу между оценками, приведенными в табл. 3.5 и 3.6. Используя табл. 3.5, можно дать балльные оценки достаточно большому количеству объектов

(решений, действий, проектов и т.д.), причем с точки зрения эксперта все эти решения будут согласованы. Но такие согласованные оценки эксперт или руководитель может дать далеко не всегда. В очень многих случаях он может осуществить только попарные сравнения. Примеры таких оценок даны в табл. 3.6. Эти оценки могут оказаться несогласованными.

Несогласованность заключается в том, что при попарном сравнении эксперт может оценить:

*A* лучше *B*, *B* лучше *C*, *C* лучше *D*, ..., *K* лучше *M*, *M* лучше *B*.

То есть, *B* лучше *M* и хуже *M* одновременно. Для преодоления этой трудности обычно применяют один из двух способов.

1. Сравнивают, но не каждый объект с каждым, а все объекты с одним. В повседневной жизни таким объектом могут быть деньги - «всеобщий эквивалент».

2. Применяют специальные процедуры согласования оценок [3.28, 3.29].

В разделе 1.2 уже говорилось о важности точности измерений. При отображении шкалы физических параметров на шкалу лингвистических переменных (фактически шкалу критериальных оценок) эксперт или руководитель может это сделать с различной степенью точности, т.е. используя шкалы разной балльности: сто балльные шкалы, десятибалльные, привычные нам со школы пятибалльные или какие-нибудь другие. Выбор шкалы должен определяться той степенью точности, с какой человек может определить состояние объекта или процесса.

Таблица 3.7.a

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
7	7	6
6	7	8
8	8	7
21	22	21
<b>I-II</b>	<b>III</b>	<b>I-II</b>

Таблица 3.7.b

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
7.2	6.6	6.4
6.4	6.7	7.9
8.3	8.3	7.4
21.9	21.6	21.7
<b>III</b>	<b>I</b>	<b>II</b>

Таблица 3.7.c

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
7.16	6.62	6.37
6.35	6.75	7.86
8.27	8.34	7.41
21.78	21.71	21.64
<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>

При этом необходимо помнить, что, используя разную точность измерения, безотносительно в лингвистических переменных или физических параметрах, при сравнении объектов или процессов можно получить разные результаты. Иногда результат оценки по одной шкале точности может противоречить результату по другой. Это хорошо видно на примерах табл. 1.1 и 1.2. Подтвердим это еще одним примером.

Объявлен конкурс на строительство комплекса из трех зданий. В конкурсе участвует три фирмы *A*, *B* и *C*. В табл. 3.7.a, b, c показаны цены за строительство зданий, определенный каждой фирмой. Во второй строке табл. 3.7.a, b, c указаны цены за первое здание, в третьей – за второе, в четвертой – за третье, в пятой – суммарная цена комплекса и в шестой – места, занимаемые фирмами на конкурсе. В табл. 3.7.a цены указаны с округлением до миллионов рублей (округление производилось в ближайшую сторону), в табл. 3.7.b – до сотен тысяч и в табл. 3.7.c – до десятков тысяч рублей. Из табл. 3.7.a, b, c видно, что фирмы занимают места в зависимости точности оценки.

### 3.3 Влияние субъективности на результаты интеллектуального анализа данных в прикладных задачах

Теперь попытаемся показать на различных примерах прикладных задач роль факторов субъективности при компьютерном анализе данных методами, изложенными в предыдущем разделе.

### А. Экономические задачи

**Выявление предпочтений потребителей.** Начнем с примера, в котором субъективные оценки потребителей являются входными данными для анализа. Во многих случаях бывает важно выяснить, как распределяются симпатии клиентов между однородными предприятиями обслуживания. Это очень важно, в частности при планировании расширения сети предприятий обслуживания. Рассмотрим эту задачу на примере создания сети автомобильных заправочных станций (АЗС), будем ее решать методом нечеткой логики (см. раздел 3.2.Е).

Для определения параметров АЗС (как и других предприятий обслуживания) во многих случаях целесообразно провести маркетинговый анализ для выявления требований, которым, по мнению будущих клиентов, она должна была бы отвечать.

Один из методов проведения такого анализа является опрос будущих клиентов и компьютерная обработка их ответов. В процессе опроса будем предлагать будущим клиентам  $m$  вариантов АЗС, характеризуемых  $p$  параметрами. Один вариант АЗС будем считать предпочтительнее другого, если указанные будущими клиентами оценки одного варианта выше оценок другого.

Пусть  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – множество будущих клиентов,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  – множество параметров АЗС,  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$  – множество вариантов АЗС.

$\Phi(x, y) \rightarrow [0, 1]$  есть функция принадлежности, нечеткого бинарного отношения  $R = (x, y)$ , определяющая степень важности признака  $y$  возможным будущим клиентом  $x$ ,

$\pi(y, z) \rightarrow [0, 1]$  – функция принадлежности, нечеткого бинарного отношения  $S = (y, z)$ , определяющая насколько признак  $y$  принадлежит АЗС типа  $z$ .

Аддитивная функция принадлежности [3.31]:

$$(3.1) \quad \mu_{A_i}(x_k, z_i) = \frac{\sum_j \Phi(x_k, y_j) \pi(y_j, z_i)}{\sum_j \Phi(x_k, y_j)}; \quad (x_k \in X, y_j \in Y \text{ и } i = \overline{1, M})$$

является одной из возможных функций, определяющих степень предпочтения варианта  $z_i$  будущим клиентом  $x_k$ . Естественно, функцию  $\mu_{A_i}(x, z_i)$  можно определить и по-другому.

Для определения множеств клиентов, предпочитающих тот или иной вариант АЗС будем использовать понятие порога разделимости  $l$ . Его можно определять различными способами: например, выбрав максимальное значение функции принадлежности  $\mu_{A_k}(x_k, z_i)$ , т.е. выбрав АЗС, которой клиент оказывает максимальное предпочтение.

Можно выбрать наибольшее возможное значение  $l$ , меньшее  $\max_x \min[(\mu_{A_i}(x), \mu_{A_j}(x))]$ , т.е.  $\bar{l} = \max_x \min[(\mu_{A_i}(x), \mu_{A_j}(x))]$  по матрице  $W$ ;

$$W = \begin{bmatrix} \mu_{A_1}(x_1, z_1) \wedge \mu_{A_2}(x_1, z_2) & \dots & \mu_{A_{m-1}}(x_1, z_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_1, z_m) \\ \mu_{A_1}(x_2, z_1) \wedge \mu_{A_2}(x_2, z_2) & \dots & \mu_{A_{m-1}}(x_2, z_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_2, z_m) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_{A_1}(x_n, z_1) \wedge \mu_{A_2}(x_n, z_2) & \dots & \mu_{A_{m-1}}(x_n, z_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_n, z_m) \end{bmatrix}$$

$l = \max_{i,k} \mu_{A_i}(x_k, z_i) < \bar{l}$  по матрице  $\|\mu_{A_i}(x_k, z_i)\|$ . Возможны другие варианты.



Теперь рассмотрим иллюстративный пример.

Требуется определить какие варианты АЗС предпочтительнее для клиентов. Для этого сначала определим важность каждого параметра для будущего клиента. Пусть проведен опрос 12 будущих клиентов  $x_i$ ,  $i = \overline{1,12}$  (выборка, конечно, не представительная, но для иллюстрации метода в нашем примере достаточная). Возьмем четыре параметра:  $y_1$  – возможность возникновения очереди у заправочного пистолета,  $y_2$  – тип АЗС,  $y_3$  – наличие на АЗС ремонтных постов для проведения технического обслуживания и ремонта и  $y_4$  – предполагаемый характер торгового обслуживания (буфет быстрого питания, торговля запасными частями и т.д).

Оценку важности для себя каждого параметра будущие клиенты могут производить либо используя лингвистические переменные, либо балльную шкалу, показанные в табл. 3.8.

Таблица 3.8

<i>Значения лингвистических переменных</i>	<i>Балльные значения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>
Очень важно	1
Важно	0.9
Достаточно важно	0.8
Не очень важно	0.7
Выше средней важности	0.6
Средней важности	0.5
Ниже средней важности	0.4
Незначительной важности	0.3
Низкая важность	0.2
Очень низкая важность	0.1
Не имеет значения	0

Результаты опроса 12 будущих клиентов относительно важности для них каждого параметра АЗС приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
$x_1$	очень важно	не имеет значения	не имеет значения	не имеет значения
$x_2$	не имеет значения	очень важно	не имеет значения	не имеет значения
$x_3$	не имеет значения	не имеет значения	очень важно	не имеет значения
$x_4$	не имеет значения	не имеет значения	очень важно	не имеет значения
$x_5$	очень важно	очень важно	очень важно	очень важно
$x_6$	достаточно важно	ниже средней важности	средней важности	важно
$x_7$	не очень важно	незначительной важности	ниже средней важности	достаточно важно
$x_8$	средней важности	достаточно важно	достаточно важно	низкой важности
$x_9$	средней важности	средней важности	средней важности	средней важности
$x_{10}$	выше средней важности	не очень важно	достаточно важно	средней важности
$x_{11}$	очень низкой важности	очень низкой важности	очень низкой важности	очень низкой важности
$x_{12}$	не имеет значения	не имеет значения	очень важно	очень важно

На пересечении строки  $x_i$  и столбца  $y_j$  представлены субъективные оценки важности  $j$ -го параметра для  $i$ -го клиента (для оценок использовались лингвистические пе-

ременные). Как видно из табл. 3.9, разброс оценок очень большой. При всей грубости этих оценок (клиент далеко не всегда может точно сформулировать свои предпочтения) данные, приведенные в табл. 3.9 могут быть средством уменьшения внешней неопределенности. Табл. 3.9 в явном (или неявном виде опосредовано через функцию (3.1)) также является средством уменьшения внешней неопределенности руководителя или эксперта.

Система поддержки принятия решений переводит лингвистические переменные в цифровое значение. Они показаны во втором столбце табл. 3.8. В памяти системы СППР появляется табл. 3.10, определяющая бинарное отношение  $R(x,y)$  или значения функции принадлежности  $\Phi(x,y)$  формулы (3.1).

Таблица 3.10

$$R = \begin{matrix} & y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 0.4 & 0.5 & 0.9 \\ 0.7 & 0.3 & 0.4 & 0.8 \\ 0.5 & 0.8 & 0.8 & 0.2 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.5 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Для определения функции принадлежности  $\pi(y,z)$ , т.е. того насколько каждый вариант АЗС отвечает параметрам  $y_i$ , каждый из опрошенных будущих клиентов дает свою субъективную оценку, аналогично табл. 3.9. Эти оценки усредняются и в памяти СППР появляется табл. 3.11 усредненных субъективных оценок вариантов АЗС относительно характеризующих их параметров. Бинарные отношения  $S(y,z)$  табл. 3.11 определяет значения функции принадлежности  $\pi(y,z)$  в формуле (3.1).

Таблица 3.11

$$S = \begin{matrix} & z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0.5 & 0.7 \\ 0.5 & 0.9 & 0.6 & 0.6 \\ 0.4 & 0.9 & 0.5 & 0.4 \\ 0.8 & 0.1 & 0.5 & 0.6 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Применяя формулу (3.1) определения  $\mu_{A_i}(x, z_i)$ , СППР строит матрицу  $\|\mu_{A_i}(x_j, z_i)\|$  (табл. 3.12).

Элементы каждой строки табл. 3.12 характеризуют вариант АЗС  $z_i$  значением функции принадлежности предпочтения будущего клиента  $x_j$  варианту АЗС  $z_i$ .

Таблица 3.12

	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
$x_1$	0.9	0.1	0.5	0.7
$x_2$	0.5	0.9	0.6	0.6
$x_3$	0.4	0.9	0.5	0.4
$x_4$	0.8	0.1	0.5	0.6
$x_5$	0.65	0.5	0.525	0.575
$x_6$	0.708	0.377	0.515	0.592
$\mu_{A_i}(x, z_i) = x_7$	0.718	0.355	0.514	0.595
$x_8$	0.578	0.657	0.535	0.552
$x_9$	0.65	0.5	0.525	0.575
$x_{10}$	0.619	0.562	0.527	0.562
$x_{11}$	0.65	0.5	0.525	0.575
$x_{12}$	0.65	0.5	0.5	0.5

Выше уже отмечалось, что пороги разделения могут быть разные. Важно еще раз подчеркнуть, что от выбора порога (в достаточной степени субъективного выбора) зависит оценка «распределения» предпочтений клиентов вариантам проектов АЗС. Одним из «естественных» порогов для разделения клиентов по их предпочтениям вариантам проектов АЗС можно выбрать максимальное значение  $\mu_{A_i}(x, z_i)$ , т.е. тот проект  $z_i$ , которому клиент  $x_j$  оказывает наибольшее предпочтение. При таком выборе порога потребители разделили бы области предпочтения проектов следующим образом:

$$(3.2) \quad \begin{cases} Z_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\} \\ Z_2 = \{x_2, x_3, x_8\} \\ Z_3 = \{\} \\ Z_4 = \{\} \end{cases}$$

Заметим, что  $Z_3$  и  $Z_4$  – пустые. Разделение четкое: каждый потребитель выбрал свой вариант АЗС.

Теперь проведем разделение, используя два максимальных значения  $\mu_{A_i}(x, z_i)$  для каждого  $x_i$ , т.е. считая, что потребитель исходит не только из экстремальных предпочтений выбора одного варианта, а выбирает два наиболее предпочтительных варианта АЗС. Тогда получается следующее разделение на области предпочтения:

$$(3.3) \quad \begin{cases} Z_1 = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\} \\ Z_2 = \{x_2, x_3, x_8, x_{10}, x_{12}\} \\ Z_3 = \{x_2, x_{12}\} \\ Z_4 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\}. \end{cases}$$

Произошло нечеткое разделение клиентов по вариантам АЗС. Исходя даже из этих простых примеров, видно, что субъективное задание порога может коренным образом изменить картину распределения торговых зон.

Заметим, что предпочтения (3.2) резко отличаются от предпочтений (3.3). По предпочтениям (3.2) варианты  $Z_3$  и  $Z_4$  надо отбрасывать, т.к. ни одному клиенту они не

нравятся. По предпочтениям (3.3) вариант  $Z_4$  одобряют столько же клиентов, сколько вариант  $Z_1$  – 11 из 12. В обоих случаях не получает одобрения вариант  $Z_3$ . На какие варианты предпочтений ориентироваться зависит от руководителя: если вариант (3.2) не будет противоречить экономическим и другим критериям, рассматриваемым ниже, то, конечно, лучше воспользоваться им, т.к. он точнее выражает предпочтения клиентов. Если нет, то можно воспользоваться вариантом (3.3).

Теперь рассмотрим разделение на области предпочтений с помощью порогового значения  $\bar{l}$  по матрице  $W$  (табл. 3.13). Это разделение также кажется «естественным», т.к. предпочтения клиентов максимально разделены.

Таблица 3.13

	$z_1z_2$	$z_1z_3$	$z_1z_4$	$z_2z_3$	$z_2z_4$	$z_3z_4$
$x_1$	0.1	0.5	0.7	0.1	0.1	0.5
$x_2$	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
$x_3$	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4
$x_4$	0.1	0.5	0.6	0.1	0.1	0.5
$x_5$	0.5	0.525	0.575	0.5	0.5	0.525
$x_6$	0.377	0.515	0.592	0.377	0.377	0.515
$x_7$	0.356	0.514	0.595	0.355	0.355	0.514
$x_8$	0.578	0.535	0.552	0.575	0.552	0.536
$x_9$	0.5	0.525	0.575	0.5	0.5	0.525
$x_{10}$	0.572	0.527	0.562	0.527	0.562	0.527
$x_{11}$	0.5	0.525	0.575	0.5	0.5	0.525
$x_{12}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Находим пороговые значения по матрице  $W$ :

$$\max_x \min[\mu_{A_1}(x, z_1), \mu_{A_2}(x, z_2)] = 0.578, \quad \max_x \min[\mu_{A_1}(x, z_1), \mu_{A_3}(x, z_3)] = 0.535,$$

остальные значения: для столбца  $z_1z_4=0.7$ , для столбцов  $z_2z_3$ ,  $z_2z_4$  и  $z_3z_4$  они равны 0.6.

Минимальная из подсчитанных величин  $\bar{l} = 0.535$ . Теперь из матрицы  $\|\mu_{A_i}(x, z_i)\|$  (табл. 3.12) выбираем для  $l$  наибольшее возможное значение, меньше 0.535 и получаем  $l=0.527$ .

Получаем третий вариант разделения на области предпочтения:

$$(3.4) \quad \begin{aligned} Z_1 &= \{x_1, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\} \\ Z_2 &= \{x_2, x_3, x_8, x_{10}\} \\ Z_3 &= \{x_2, x_8, x_9\} \\ Z_4 &= \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}\}. \end{aligned}$$

Заметим, что нечеткое разделение (3.3), конечно, отличается от нечеткого разделения (3.4), но эти отличия не являются кардинальными и для оценки предпочтительности вариантов можно пользоваться любым из них. Так в оценке (3.3) варианты  $Z_1$  и  $Z_4$  предпочитают 11 будущих клиентов, а в оценке (3.4) те же варианты предпочитают 10 из 12. Ясно, что большинство клиентов удовлетворяют оба эти варианта.

Учитывать критерии предпочтения клиентов при выборе параметров АЗС необходимо, хотя они могут не совпадать (и часто действительно не совпадают) с другими критериями, например, экономическими. Неучет предпочтений клиентов может привести к тому, что клиенты уйдут к конкурентам.

Часто желательно оценивать не только параметры, но их значения. Значения  $y_j^r$  – параметра  $y_j$  – могут быть заданы, например, следующим образом:

$y_1^1$  – очереди не возникают,  $y_1^2$  – может быть очередь не более 2 машин,  $y_1^3$  – может возникнуть очередь более 3 машин,  $y_2^1$  – базисная АЗС,  $y_2^2$  – элитная АЗС,  $y_3^1$  – нет ремонтных постов,  $y_3^2$  – 1 ремонтный пост,  $y_3^3$  – 2 ремонтных поста,  $y_4^1$  – нет торгового обслуживания,  $y_4^2$  – буфет с холодными закусками и т.д. В этом случае табл. 3.9 будет иметь большее число столбцов, т.к. параметры  $y_j$  будут заменены параметрами  $y_j^r$ . Для ее составления потребуется задавать большее число вопросов будущим клиентам, но в этом варианте она даст больше информации для оценки вариантов АЗС.

Функцию  $\pi(y_j \times z_i)$  запишем в виде  $\pi(y_j^{z_i}, y_i)$ . Теперь она будет представлять функцию принадлежности значения параметра  $y_j^{z_i}$  варианта проекта АЗС  $z_i$  к параметру  $y_j$ , а бинарное отношение  $S(y_j, z_i)$  будет иметь вид  $S(y_j^{z_i}, y_j)$ . Например, если в варианте АЗС  $z_4$  предполагается создать один ремонтный пост, то  $y_3^{z_4}$ , согласно только что введенной индексации, отображается в  $y_3^2$ , и  $\pi(y_3^{z_4}, y_3) = \pi(y_3^2, y_3)$ . Значения этих функций предпочтения могут быть получены также как значения бинарного отношения  $S(y, z)$  табл. 3.11. В табл. 3.11 в этом случае идентификаторы столбцов  $z_i$  будут заменены на  $y_j$ , и идентификаторы строк  $y_j$  на  $y_j^r$ .

Тогда функция примет вид:

$$(3.1') \quad \mu_{A_i}(x_k, z_i) = \frac{\sum_j \Phi(x_k, y_j^r) \pi(y_j^{z_i}, y_j)}{\sum_j \Phi(x_k, y_j^r)}$$

Оценки предпочтений клиентов с использованием функции (3.1') производятся также как и с функцией (3.1).

Разные методы маркетингового анализа требуют различных расходов и дают разную степень точности и соответственно в большей или меньшей степени уменьшают этот вид внешней неопределенности. Но после того как такие исследования проведены, можно определить структуру и характер сети предприятий обслуживания, в нашем случае АЗС.

Из приведенных примеров видно, что, используя одну и ту же методологию нечетких множеств, но, выбирая на основе субъективных предпочтений различные способы определения порога, получаем результаты, отличающиеся друг от друга.

Эту задачу можно решить также методом кластеризации (см. раздел 3.2.С). Для этого введем меру близости (расстояние)  $d(x_i, z_j)$  между потребителем ( $x_i$ ) и АЗС ( $z_j$ ) в пространстве признаков  $y_i$ ,  $i = \overline{1,4}$  и отнесем потребителя  $x_i$  той АЗС  $z_j$ , расстояние между которыми будет минимальным, тогда задача может быть решена одним из методов раздела 3.2.С. Используем в качестве исходных данных матрицы  $R$  и  $S$ . Введем, например, обычное Евклидово расстояние  $d_{ij} = \sqrt{\sum_k (x_{ik} - z_{jk})^2}$  между  $x_i$  и  $z_j$  и получим матрицу  $D$  (табл. 3.14).

Разделение по вариантам АЗС можно осуществить, отнеся  $x_i$ ,  $i = \overline{1,12}$  к тому  $z_j$ , для которого  $d_{ij}$ ,  $i = \overline{1,4}$  минимальное. Тогда получим следующие четкие зоны:

$$(3.5) \quad \begin{aligned} Z_1 &= \{x_5, x_6, x_7\} \\ Z_2 &= \{x_2, x_3, x_8\} \\ Z_3 &= \{x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\} \\ Z_4 &= \{x_1, x_4\}. \end{aligned}$$

Таблица 3.14

	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
$x_1$	1.029	1.56	1.05	1.02
$x_2$	1.307	0.905	0.953	1.081
$x_3$	1.208	0.916	1.05	1.252
$x_4$	1.122	1.56	1.53	1.000
$x_5$	0.787	1.280	0.95	0.877
$x_6$	0.2	1.24	0.529	0.36
$x_7$	0.282	1.208	0.479	0.36
$x_8$	0.927	0.424	0.469	0.632
$x_9$	0.509	0.8	0.1	0.264
$x_{10}$	0.608	0.678	0.331	0.435
$x_{11}$	1.174	1.131	0.854	0.979
$x_{12}$	1.208	1.276	1.053	1.166

Четкое разделение (3.2) разительно отличается от четкого разделения (3.5). В первом случае варианты АЗС  $Z_3$  и  $Z_4$  вообще не имеют клиентов, а во втором случае  $Z_3$  имеет их больше всех. Для получения пересекающихся предпочтений (т.е. нечеткого разделения) можно ввести правило двух минимальных  $d_{ij}$ . Тогда:

$$\begin{aligned} Z_1 &= \{x_1, x_5, x_6, x_7\} \\ Z_2 &= \{x_2, x_3, x_8\} \\ Z_3 &= \{x_2, x_3, x_4, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\}. \\ Z_4 &= \{x_1, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\}. \end{aligned}$$

«Распределение» покупателей по областям предпочтения снова зависит от субъективного выбора правила определения порога. Можно предложить и другие правила кластеризации, которые дадут другие разбиения на области предпочтения.

Из приведенных примеров видно насколько разбиение на области предпочтения зависит от субъективного выбора метода разбиения, выбора порога и выбора метрики.

*Анализ состояния клиентов при предоставлении займов.* С точки зрения кредитора степень рискованности займа зависит от надежности заемщика. Для определения кредитного риска в работе [3.19] были введены 26 показателей, характеризующих платежеспособность заемщика. Все 26 показателей разбивались на 4 группы:

- А. Принадлежность к отрасли (каждая отрасль имела свое значение финансовых показателей), рыночный потенциал, возраст предприятия и т.д;
- В. Организационные факторы: структура собственности, централизованное принятие решений и гибкость организации, благонадежность управляющего, число работников и т.д;
- С. Макроэкономические показатели: инфляция, прямые налоги, таможенные и акцизные сборы, курс национальной валюты и т.д;

- D. Финансовые показатели: чистая маржа, коэффициент покрытия при обслуживании долга, рост объема продаж, дебиторский показатель и т.д.

Обучающая выборка включала данные по 60 предприятиям, содержащие и указанные 26 признаков. Все предприятия были разбиты на три группы в соответствии с предсказываемой ему судьбой:

- 1-ая группа – 40 предприятий, которые должны просуществовать более 6 месяцев;
- 2-ая группа – 16 предприятий, о которых эксперты не смогли высказать однозначное мнение (одни эксперты считали, что просуществуют более шести месяцев, другие – что не просуществуют);
- 3-я группа - 3 предприятия, которые, по мнению экспертов, обанкротятся в течение 6 месяцев.

Про каждое из этих предприятий была известна их судьба (выжили они или стали банкротами).

На основании 26 значений, характеризующих состояние клиентов, желающих получить кредит банка, нейронная сеть вычисляет значение некоторой функции. В соответствии с этим значением решается вопрос о предоставлении кредита. Значение функции в интервале  $[0, 0.33]$ , говорит о надежности предприятия и является рекомендацией к выдаче кредита. Значение функции в интервале  $[0.34, 0.66]$  говорит о том, что рекомендации по этому предприятию дать трудно. Наконец, значение функции в интервале  $[0.67, 1.00]$  говорит о том, что предприятию кредит давать не следует. Соответственно с этими значениями нейронная сеть относила предприятия к первой, второй или третьей группе.

Таблица 3.15

Фактическое число предприятий, вошедших в группу	Число предприятий, отнесенные к группе, и %		
	1	2	3
1 группа – 40 предприятий	39 97%	1 3%	0 0%
2 группа – 16 предприятий	11 69%	5 31%	0 0%
3 группа – 3 предприятия	0 0%	0 0%	3 100%
Неправильно классифицируемых случаев – 12 (20%)			

Результаты обучения нейронной сети (см. раздел 3.2.В) показаны в табл. 3.15. В каждой клетке табл. 3.15 показано число предприятий данной группы, которые нейронная сеть отнесла именно к этой группе и % правильных (или неправильных) решений, сделанных нейронной сетью. Так, например, нейронная сеть отнесла к первой группе 39 предприятий из этой группы (97%), а одно предприятие (3%) отнесла ко второй группе.

Сравнение результатов оценки предприятий нейронной сетью с их фактическим состоянием (выжил, обанкротился) показал, что по 12 предприятиям были допущены ошибки. По 16 предприятиям, отнесенным нейронной сетью ко второй группе, результаты анализа не дали возможности принять решение, требовались дополнительные исследования. Но дело не только в точности решения.

В этом примере интервал значений был разделен на три равных отрезка. Это чисто субъективное решение (как и всякое другое разбиение интервала выходных значений). Если бы требования к оценкам были ужесточены: например, отрезок первой группы  $[0, 0.20]$ , второй –  $[0.20, 0.85]$ , третьей –  $[0.86, 1]$ , то число ошибок было бы значительно меньше, но резко бы возросло число предприятий, входящих во вторую

группу. В зависимости от того, чего больше боится кредитор: не дать кредит здоровому предприятию или не дать кредит вероятному банкроту, и насколько он боится этих ошибок, т.е. от его субъективных предпочтений будут меняться границы отрезков значений сигналов первой и третьей группы, а значит, и решения о предоставлении кредита.

**Прогноз налоговых поступлений.** Для оценки общего объема поступлений в бюджет применяются различные методы, в том числе эконометрическое моделирование, множественная регрессия, анализ временных рядов. Перечисленные методы имеют ряд недостатков. В частности: возникают проблемы, когда ряды значений переменных содержат пропуски, требуются априорные спецификации моделей, возникают сложности при прогнозе быстромменяющихся во времени процессах.

Для преодоления этих трудностей была использована нейросетевая модель [3.19] (см. раздел 3.2.В). Для модели были выбраны 13 переменных: календарный эффект (CAL), официальная оценка годовой суммы налогов (ANNUAL), сезонность (SEA), число рабочих дней (DAY), совокупное потребление (CON), ставка МБК (AI-BOR), совокупные вложения в ценные бумаги с фиксированным доходом (INV), уровень безработицы (UNEM), индекс курсов акций (CBS), предложение денег (MI), показатель фазы цикла деловой активности (CYC), температура (TEM) и осадки (RAIN). Заметим, что выбор переменных зависит от субъективных представлений аналитика. «Лишние» переменные могут быть отмечены нейронной сетью (они получают наименьшие оценки важности), но отсутствие существенных переменных приведет просто к ошибочным результатам, т.к. нейронная сеть самостоятельно восстановить их не в состоянии.

На вход нейронной модели подавались все 13 значений, а для выбора наилучшей структуры модели был проведен эксперимент, показанный на табл. 3.16 (была выбрана многослойная сеть с обратным распространением ошибки).

Таблица 3.16

Тип сети	Среднеквадратичная ошибка при обучении	Среднеквадратичная ошибка при проверке	Число весов	NBIC
13-2-1	0.021	0.063	44	- 0.231
13-3-1	0.019	0.066	59	0.9639
13-4-1	0.016	0.07	74	2.0338
13-5-1	0.019	0.065	89	3.4808
13-10-1	0.026	0.063	164	10.154
13-27-1	0.021	0.055	419	31.474

Для определения наилучшей конфигурации сети использовался нормализованный байесовский информационный критерий (NBIC).

$$NBIC = \ln \left( \frac{\sum_k (\text{целевая переменная}_k - \text{прогноз}_k)^2}{N} \right) + \left( \frac{\ln N}{N} \right) P,$$

где  $k=1, \dots, N$  – число наблюдений в обучающем множестве ( в табл. 3.13 не указано),  $P$  – число весов.

Сеть, имеющая наименьшее значение NBIC, обладает наилучшими способностями к прогнозу и обобщению. Наилучшей конфигурацией в эксперименте оказалась сеть 13-2-1. Заметим, что, таким образом, выбор конфигурации сети может сказаться на результатах расчета.



Эта же задача решалась методом регрессионного анализа (см. раздел 3.2.С). На табл. 3.17 показана средняя относительная дисперсия ( $ARV$ ):

$$ARV = \frac{\sum_{k=1}^N (\text{Целевая переменная}_k - \text{прогноз}_k)^2}{\sum_{k=1}^N (\text{целевая переменная}_k - \text{среднее})^2}$$

для методов регрессий и нейронной сети.

Таблица 3.17

	Регрессия	Нейронная сеть
Обучение	0.4821	0.3165
Проверка	0.8972	0.7049

Из табл. 3.17 видно, что нейронная сеть дает лучшие результаты, чем регрессия. Выбор метода и в этом случае может оказать влияние на точность расчета и, следовательно, на его результат.

Интересны оказались и результаты оценки влияния (значимости) каждого фактора на сбор налогов. Оценки производились по алгоритму нахождения весов, применяемому для оценки влияния отдельных факторов с помощью многослойных нейронных сетей.

В табл. 3.18 представлена статистика, полученная при проведении 45 экспериментов по видам влияния переменных обучающего множества на результат. Число в табл. 3.18 показывает, сколько раз на протяжении 45 экспериментов данный фактор оценивался положительно, отрицательно или нейтрально.

Таблица 3.18

	CAL	ANNUAL	SEA	DAY	CON	AI-BOR	CYC	TEM	RAIN
Положительное	17	29	16	19	15	7	15	14	11
Нейтральное	16	5	20	13	22	33	20	19	32
Отрицательное	12	11	9	13	8	5	10	12	2

В табл. 3.18 не вошли показатели значимости по факторам: уровень безработицы, индексов курсов акций и предложения денег, т.к. они сильно скоррелированы с другими переменными (CON) и официальной оценкой годовой суммы налогов (ANNUAL). Из табл. 3.18 видно, что наибольшее влияние на сбор налогов оказывают факторы: ANNUAL, DAY и CAL (как положительное, так и отрицательное).

**Анализ доходности активов банка.** Банк, покупая и продавая ценные бумаги (активы), стремится получить максимальную прибыль, т.е. купить активы, имеющие тенденции роста и продать в момент, когда они достигают максимальной стоимости, перед тем, как их стоимость начнет падать. Фактически решается задача прогнозирования курса (стоимости) акций. Эта задача может решаться на основании знания законов движения объектов или развития системы (на этом основано предсказание движения планет, солнечных затмений и т.п.), на основании знания истории развития процесса (на основании этих данных часто принимают решения о выдаче кредита частным лицам и организациям), и, наконец, на основании интуиции и опыта аналитика или руководителя. Конечно, могут быть комбинации этих методов.

С помощью одной из таких комбинаций решим задачу анализа доходности активов банка. Для этого введем следующие обозначения:

$A_{ij}$  – сумма инвестиций в  $i$ -ый день  $i=1, \dots, N$  в выделенный тип  $j$ -ых активов,  $j=1, \dots, M$ ;

$\bar{A}_i$  – общая сумма активов в  $i$ -ый день;

$Y_{ij}$  – доходность (процентная ставка) выделенного типа  $j$ -х активов в  $i$ -ый день;

$\bar{L}_i$  – общая сумма привлечения ресурсов в массивах (выплата по обязательствам) в  $i$ -ый день;

$K_i$  – собственный капитал банка на  $i$ -ый день.

Эти величины могут быть получены из исторического ряда данных или с помощью некоторой другой процедуры прогнозирования. Выбор метода и тем более процедуры прогнозирования определяются опытом и субъективными предпочтениями аналитика или руководителя. Здесь и возникает разница между ординарным игроком, использующим стандартные методы на бирже и талантливым спекулянтом, сочетающим известные методы оценки со своим опытом и знаниями. Не случайно один известнейших игроков на бирже Дж. Сорос заметил [3.32]: «Меня особенно интересуют те инвестиционные тезисы, которые рынок принимает неохотно. Они обычно оказываются наиболее правильными. Говорят, что «на рынке ходят по ковру, сотканному из беспокойства», т.е. интуитивная оценка значений, скажем  $Y_{ij}$ , может оказаться решающей при вычислении функции средневзвешенной доходности  $\Pi(A)$ .

Таким образом, задача заключается в определении  $Y_{ij}$  не только на основании исторического ряда данных, но и с правильным учетом изменения экономической ситуации в стране и/или на конкретном рынке, сделанном на основании опыта, знаний и предпочтений эксперта. После того, как значения  $Y_{ij}$  на прогнозируемый отрезок времени определены, необходимо найти неизвестные матрицы инвестиции  $\|A_{ij}\|$ , максимизирующие его средневзвешенную доходность от вложений средств банка в различные виды активных операций [3.33]. Заметим, что формула нахождения матрицы  $\|A_{ij}\|$  с большими вариациями приводится в различных работах [3.34].

$$\Pi(A) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M A_{ij} \times Y_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M A_{ij}} \rightarrow \max$$

Во время плановых расчетов необходимо соблюдать балансовое ограничение  $\bar{A}_i \leq K_i + \bar{L}_i$ , показывающее, что ежедневная сумма не может превышать сумму пассивов, т.е. капиталов и обязательств.

Помимо внешних ограничений в виде обязательных нормативов, предусмотренных законодательством, банки создают свою систему внутренних лимитов.

Для каждого  $A_{ij}$  и  $L_{ij}$  вводятся ограничения:

$$\min A_{ij} \leq A_{ij} \leq \max A_{ij};$$

$$\min L_{ij} \leq L_{ij} \leq \max L_{ij}$$

Возможны и другие ограничения.

Рассмотрим решение этой задачи методом генетических алгоритмов (см. раздел 3.2.А). Для представления задачи в виде удобном для ее решения методом генетических алгоритмов необходимо для каждого из  $N$  дней указать набор  $A_{ij}$ , которые в эти дни могут быть реализованы. Набор  $A_{ij}$ , реализуемый в  $i$ -ый день будем считать геном. Цепочка из  $N$  генов образует хромосому (см. рис. 3.13).

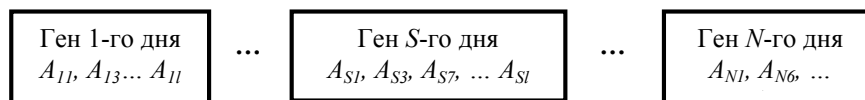


Рис. 3.13

Ген каждого дня может быть сформирован вручную, но может быть сгенерирован и системой ИАД по заданному алгоритму, учитывающему все необходимые ограничения, доходность каждого  $j$ -го типа активов и другие необходимые параметры. Для решения задачи создается несколько хромосом (не меньше двух). Решение осуществляется по алгоритмам, описанным в разделе 3.2.А.

Эффективность каждой вновь полученной хромосомы может оцениваться по формуле:

$$E_f = \frac{\sum_i \sum_j (A_{ij} Y_{ij} d_{ij})}{\sum_i \sum_j A_{ij}}, \quad i \in I_l, j \in J_l,$$

где  $d_{ij}$  – число дней размещения средств,  $I_l$  и  $J_l$  – множества индексов  $i$  и  $j$  для  $l$ -ой хромосомы. Заметим, что в эту функцию входит и субъективная оценка  $Y_{ij}$ .

В функции  $E_f$  суммарный доход, полученный от выбранных активных операций за данный период, взвешивается по общей массе вложенных средств (см. раздел 3.2.D).

Задачу можно решить и методом графов (см. раздел 3.2.B). Пусть  $i=1, 6, j=1, 6$  (совпадение размерностей совсем не обязательно) и  $A_{i6}$  (то есть инвестирование в шестой тип активов) должно обязательно присутствовать. Система ИАД может сгенерировать для этих условий варианты решений, показанные на рис. 3.14.

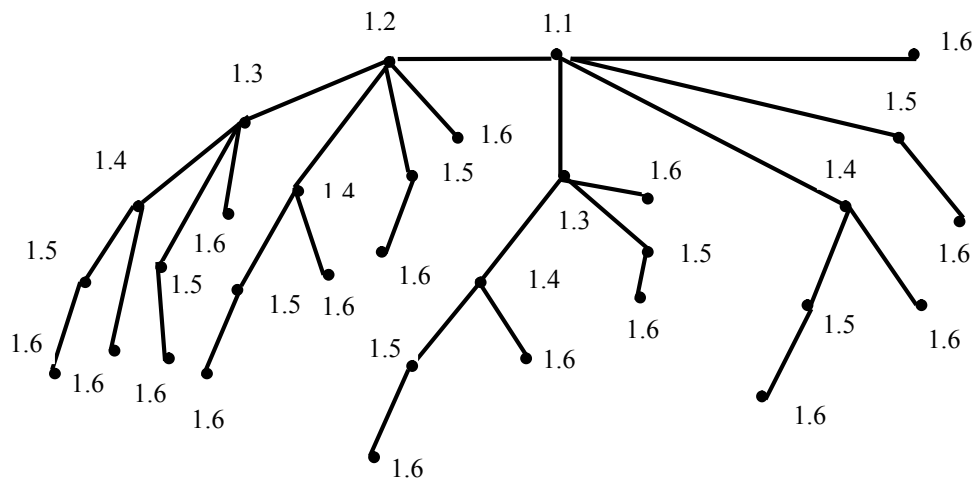


Рис. 3.14

На нем показаны варианты только для первого дня. Для получения вариантов за 6 дней каждую конечную вершину первого дня надо надстроить подграфами последующих дней.

Для каждого варианта может быть подсчитано значение  $E_f$  и лучший вариант даст желательный набор  $A_{ij}$  на ближайшие шесть дней. Если мы укажем системе ИАД какие именно активы, в какие дни целесообразно использовать (см. табл. 3.19), то перебор может быть резко сокращен. Табл. 3.19 не только сокращает перебор, но и отобра-

жает субъективные предпочтения эксперта. Граф, порожденный системой ИАД из табл. 3.19 показан на рис. 3.15.

Таблица 3.19

		Активы					
		1	2	3	4	5	6
Дни	1	*	*	*		*	*
	2			*			*
	3				*		*
	4					*	
	5						*
	6						*

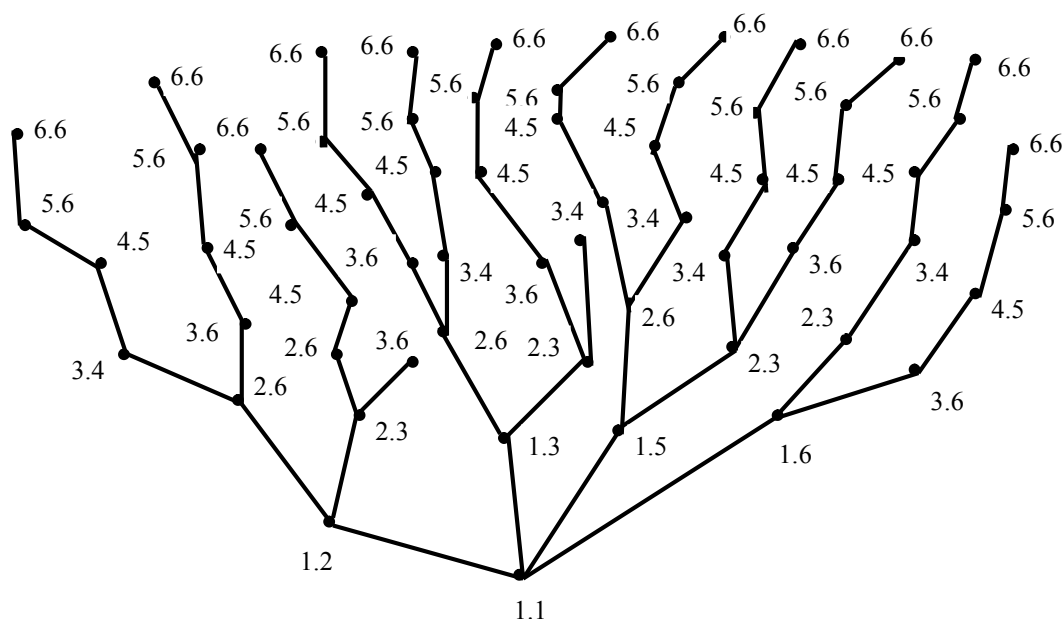


Рис. 3.15

При оценке лучшего варианта по графу рис. 3.15 учитываются как субъективные оценки  $Y_{ij}$  в формуле  $E_f$ , так и выбор экспертом желательного набора  $A_{ij}$ . Очевидно, что у каждого эксперта может получиться свой «лучший» результат.

### В. Технические задачи

**Анализ качества программного обеспечения.** Согласно ГОСТУ [3.35] оценка качества программного обеспечения имеет сложную структуру, состоит из 245 оценочных элементов, а интегральное значение вычисляется по формуле:

$$(3.6) \quad Q = \sum_i q_i \lambda_i,$$

где  $q_i \in [0,1]$  – значение (оценка)  $i$ -го оценочного элемента,  $\lambda_i$  – весовой коэффициент. Оценка качества программного обеспечения на макроуровне состоит из шести групп показателей качества: надежность, сопровождаемость, удобство применения, эффективность, универсальность и корректность. Естественно, множество показателей качества разбивается на шесть подмножеств, соответствующим шести вышеперечисленным показателям качества. Будем формировать хромосомы по показателям качества. Таким

образом, формируется шесть хромосом, длины которых соответствуют числу входящих в них элементов. Согласно [3.35] длины хромосом определяются следующим образом  $L_1 = 23, L_2 = 20, L_3 = 62, L_4 = 19, L_5 = 51, L_6 = 70$ . Некоторые исследователи [3.10] считают, что многохромосомная система предпочтительней, чем однохромосомная, описанная в разделе 3.2.А, т.к. позволяет, в частности, оптимизировать каждый показатель независимо друг от друга. Исследование анализа качества программ [3.36] проводилось по четырем группам показателей качества на хромосомах 1, 2, 4 и 6.

Оценка каждой хромосомы определялась по формуле (3.6), а стоимость доведения программ до качества, соответствующего оценке  $Q$  по формуле  $C = \sum_{i=1}^n q_i c_i$ , где

стоимостной коэффициент  $q_i$  (введение стоимостного коэффициента подразумевает, что для достижения определенного уровня – хорошо, удовлетворительно и т.д. каждого оценочного элемента, необходимо затратить некоторые средства  $c_i \in [0,1]$ ). Ясно, что значения  $\lambda_i$  и  $c_i$  – субъективные оценки аналитика или руководителя. В качестве целевой функции была взята  $Q \Rightarrow \max$  с ограничением  $C \leq C_{lim}$ , т.е. при предельно допустимом значении стоимости. Предельное значение стоимости  $C_{lim}$  изменялось с шагом 0.1, начиная от  $0.311 C_{lim}$  до  $0.9 C_{lim}$  (см. табл. 3.20).

Таблица 3.20

$C_{lim}$	$0,311 C_{ма}$	$0,4 C_{max}$	$0,5 C_{max}$	$0,6 C_{max}$	$0,7 C_{max}$	$0,8 C_{max}$	$0,9 C_{max}$
$Q_i$	x						
$Q_1$ Хромо- сомы №1	0,637391 2	0,6452173	0,6452174	0,6456522	0,6456522	0,6456523	0,0517393
$Q_2$ Хромо- сомы №1	0,352	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365	0,384
$Q_3$ Хромо- сомы №1	0,628947 3	0,6463159	0,6463175	0,6963159	0,6463157	0,6463157	0,6689474
$Q_4$ Хромо- сомы №1	0,611114 3	0,6135713	0,6137144	0,6134285	0,6135715	0,6131430	0,6234287

В результате проведенных исследований была выявлена следующая закономерность: оценка качества стабилизировалось в диапазоне  $[0.4 - 0.5]$  от  $C_{max}$  и при дальнейшем увеличении предельного значения стоимости не изменялось. Только при значениях близких к  $0,9 C_{max}$  отмечалось существенное увеличение значения оценки качества.

**Анализ степени повреждения зданий.** Анализ состояния зданий необходим для определения степени их износа или разрушения. По его результатам принимается решение о проведении ремонтных работ.

В [3.37] степень разрушения предлагается оценивать по десятибалльной шкале, показанной на рис. 3.16. Конечно, каждый эксперт может построить свою шкалу типа рис. 3.16, тогда окончательные результаты анализа состояния будут другие.

Важный аспект проблемы оценки повреждений состоит в том, что получаемая от экспертов информация имеет некоторую неопределенность и окончательный ответ несет на себе ее отпечаток. Таким образом, применяемый для решения этой проблемы метод должен учитывать появившийся в первоначальных оценках элемент неопределен-

ности, которую будем выражать лингвистическими переменными, показанными на рис. 3.16, а функцию принадлежности построим так, как показано в табл. 3.21.

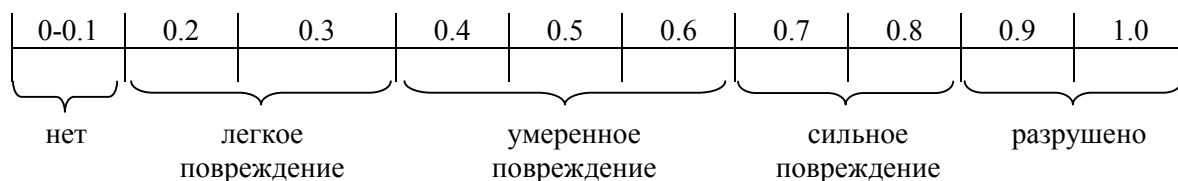


Рис. 3.16

Таблица 3.21

$d$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$\mu_B(d)$	0.2	0.5	0.8	1.0	0.8	0.4

Пусть  $B$  означает состояние сильного повреждения. Тогда функцию принадлежности  $\mu_B(d)$  в соответствии со шкалой рис. 3.16 можно представить второй строкой табл. 3.21, где  $d$  - степень разрушения по десятибалльной шкале (верхняя строка рис. 3.16).

Оценку состояния каркаса будем производить по шкале рис. 3.16. Тогда функция принадлежности  $\mu_B(d)$ , где  $B$  означает «сильная жесткость», также определяется второй строкой табл. 3.21.

Введем еще одну шкалу (рис. 3.17), характеризующую жесткость конструкции. Эта шкала, как и шкала рис. 3.16, построена в соответствии с представлениями эксперта, который ее строил. Другой эксперт может предложить другую шкалу.



Рис. 3.17

Заметим, что шкала рис. 3.17 отличается от шкалы рис. 3.16 только лингвистическими переменными. Пусть  $B$  означает, что каркас жесткий. Тогда значения  $\mu_B(d)$  в соответствии с рис. 3.17 также могут быть представлены в виде второй строки табл. 3.21. Если бы шкала рис. 3.17 отличалась от шкалы рис. 3.16 не только лингвистическими переменными, тогда в табл. 3.21 пришлось бы вставлять третью строку.

Общий диагноз состояния каркаса будем оценивать по шкалам рис. 3.16, 3.17 и табл. 3.21.

Поскольку связь между жесткостью каркаса и его общим состоянием определяется худшим из этих двух показателей, они объединяются с помощью оператора  $\min$ , а в результате получается двумерная матрица условий, определяемых верхней строчкой табл. 3.21, или что то же – верхними строками шкал рис. 3.16 или рис. 3.17.

Степень локального повреждения из цифровой оценки, показанной в матрице, может быть преобразована в лингвистическую переменную по шкале рис. 3.16. оценка

степени локального повреждения (3.7) зависит в первую очередь от характера шкал рис. 3.16, 3.17 и, соответственно, от табл. 3.21. Поскольку эти шкалы носят субъективный характер, также как и определение жесткости каркаса и его состояния, то и степень локального повреждения также субъективна.

$$(3.7) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Степень} \\ \text{локального} \\ \text{повреждения} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Оценка} \\ \text{жесткости} \end{array} \right\} \wedge \left\{ \begin{array}{l} \text{Оценка} \\ \text{состояния} \\ \text{каркаса} \end{array} \right\} =$$

$d$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
0.6	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	0.4
0.7	0.2	0.5	0.8	1.0	0.8	0.4
0.8	0.2	0.5	0.8	0.8	0.8	0.4
0.9	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

### *С. Политологические задачи*

**От чего зависит победа на выборах президента Соединенных Штатов.** Для демонстрации возможностей ИАД приведем пример анализа причин победы кандидата на выборах в президенты США [3.17, 3.38, 3.39]. Считается, что победа на выборах зависит от программы и личности кандидата. Однако анализ показал, что если предвыборные программы кандидатов отработаны добросовестно, и все участники приложили максимум усилий для победы, то выбор предопределяется объективными характеристиками ситуации и результатами, полученными правящей партией в период ее нахождения у власти. В одних ситуациях побеждает правящая партия, к которой принадлежит президент, в других – оппозиция. Победу определяют ответы на следующие вопросы:

1. Президент правящей партии была у власти более одного года?
2. Правящая партия получила больше 50% на прошлых выборах?
3. В год выборов была активна третья партия?
4. Конкуренция при выдвижении кандидата от правящей партии была серьезная?
5. Кандидат от правящей партии был президентом в год предыдущих выборов?
6. Был ли год выборов временем спада или депрессии?
7. Был ли рост среднего национального валового продукта на душу населения >2,1 %?
8. Произвел ли правящий президент существенные изменения в политике?
9. Во время правления были существенные социальные волнения?
10. Администрация правящей партии виновна в серьезной ошибке или скандале?
11. Кандидат правящей партии - национальный герой?
12. Кандидат оппозиционной партии - национальный герой?

Эти вопросы не были сформулированы автоматически. Они были сформулированы аналитиком в соответствии с его субъективными представлениями о факторах, влияющих на ход выборов. Нейросеть группы «Нейрокомп» для обучения предлагалась история президентских выборов в США за 120 лет. Ответы на 12 вопросов и результаты выборов были известны (см. табл. 3.22) [3.17, 3.38, 3.39]. После обучения нейронные сети предсказали победы на выборах Рейгану, Бушу и Клинтону [3.17, 3.39].

Нейросеть не только делает предсказания, но еще и оценивает важность отдельных признаков. В табл. 3.23 важность каждого из 12 признаков была оценена 20 нейронными сетями, играющими роль «независимых» нейронных экспертов. Каждая из 20 нейронных сетей имела свой начальный набор «весов»  $a_{ij}$ . Каждый «эксперт» оценивал значимость вопроса. Оценка указывает место соответствующего вопроса по мнению «эксперта» (указаны только шесть первых мест). Символ + означает, что для правящей партии полезен ответ «да», а символ – полезен ответ «нет».

Таблица 3.22

Выборы		Ответы на вопросы («+» - да, «-» - нет)											
№	Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Победа правящей партии</i>													
1	1864	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
2	1868	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-
3	1872	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-
4	1880	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
5	1888	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
6	1990	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+
7	1904	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
8	1908	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
9	1916	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
10	1924	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-
11	1928	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
12	1936	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-
13	1940	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-
14	1944	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-
15	1948	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
16	1956	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
17	1964	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
18	1972	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-
<i>Победа оппозиционной партии</i>													
1	1860	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-
2	1876	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-
3	1884	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-
4	1892	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+
5	1896	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-
6	1912	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
7	1920	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-
8	1932	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+
9	1952	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+
10	1960	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
11	1968	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
12	1976	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
13	1980	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+

Из табл. 3.23 видно, что самым важным признаком, по «мнению» всех нейронных сетей оказывается единство правящей партии (4-ый вопрос). Из таблицы оказывается, что нейронные сети, работающие по одним и тем же алгоритмам и обрабатывающие одни и те же массивы данных, выдают отличающиеся друг от друга результаты, так сказать «свою точку зрения».

Интересно, что в работе [3.17] было выбрано четыре наиболее значимых в соответствии с табл. 3.23 вопроса (4, 9, 7 и 8). Результаты, полученные при обработке данных по 4 вопросам, оказались очень близкими к результатам, полученным по 12 вопросам. Таким образом, часть из 12 вопросов оказалась избыточной. С другой стороны, если бы аналитикам не пришлось в голову учесть влияние конкуренции при выдвижении



кандидата от правящей партии (вопрос 4) или какие-нибудь другие факторы, оказывающие сильное влияние на голосование, то результаты анализа оказались бы сильно искаженными. Таким образом, в этом примере субъективность оценки определяется выбором факторов влияния. Может быть правильнее сказать, возможным неучетом некоторых факторов, влияющих на ситуацию.

Таблица 3.23

№ экс-перта	Номер вопроса											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			5-	2-			6+	1+	3-		4+	
2				2-		6-	4+	1+	3-			5-
3			6-	1-			2+	4+	3-		5+	
4				1-			4+	2+	3-		5+	6-
5			3-		5-			2+	4-		1+	6-
6			3-	1-			6+	2+	4-			5-
7	4-			1-	5-		3+		2+		6-	
8				3-	6+		5+	2+	1-		4+	
9			6-	1-			5+	2+	3-		4+	
10	6-			2-				1+	3-		5+	4-
11	3-		5-	1-	6+	4-			2-			
12	5-		4-	1-			2+	3+				6-
13			6-				4+	2+	5-			3-
14				1-			4+	3+	2-		6+	5-
15			5-	1-			4+	2+	3-		6+	
16	6-			1-			3+	4+	2-		5+	
17				1-		6-	5+	4+	2-			3-
18				1-			5+	3+	2-		4+	6-
19			4-	1-			5+	2+	3-		6+	
20			6-	2-			4+	3+	1-		5+	

**Анализ голосования в сенате США.** Методы дискриминантного анализа (см. раздел 3.2D) используют при решении различных задач, требующих разбиения объектов на группы или определения принадлежности объекта, обладающие определенным набором характеристик. Если известно «поведение» группы (депутатов, бизнесменов, технических устройств и т.д.), то, определив к какой группе относится тот или иной объект, можно предсказать поведение объекта в той или иной ситуации.

В работах [3.40, 3.41] рассмотрен анализ голосования в сенате США о помощи иностранным государствам за период с 1953 по 1972 годы. Исследователям было известно, что сенаторы не просто делились на группы «за» и «против» помощи иностранным государствам, а их отношение к этому вопросу было достаточно сложным и выходило за рамки партийной принадлежности (демократов и республиканцев).

Исследование по 10 голосованиям о помощи иностранным государствам было проведено в три этапа. На первом этапе были выявлены вопросы, по которым наблюдались наибольшие разногласия. На втором была проведена классификация сенаторов, проявивших свое отношение к данной проблеме. Для этого на основании данных 1955-56гг. сенаторы, явно высказывавшие свои мнения по различным вопросам оказания помощи иностранным государствам, были разделены на 4 группы, показанные в табл. 3.24. Заметим, что разделение по группам достаточно нечеткое. Слова «в целом» говорят о том, что можно было бы предложить другую классификацию, более четкую или

наоборот более расплывчатую. Это говорит о субъективности разделения на группы, что скажется на результатах дальнейшего исследования.

Таблица 3.24

Группа	Число сенаторов	Характеристика группы
1	9	В целом за помощь иностранным государствам
2	2	В целом против помощи иностранным государствам
3	5	Против помощи государствам, испытывающим финансовые затруднения
4	3	Антикоммунисты

Для оценки сенаторов и характеристики групп был введен набор дискриминантных переменных, показанный в табл. 3.25, характеризующих отношение сенаторов к оказанию помощи иностранным государствам.

Таблица 3.25

Переменная	Описание
CATAID	Сокращение фондов помощи
RESTRICT	Добавление ограничений в программу помощи
CATASIAN	Сокращение фондов помощи азиатским государствам
MIXED	Смешанные взгляды: помощь некоторым государствам и никакой помощи коммунистам
ANTIYUGO	Отказ в помощи Югославии
ANTINEUT	Неоказание помощи нейтральным государствам

Для каждой переменной ее значение находили как среднее по результатам голосования. Для каждого отдельного голосования сенаторам, явно выражающим свое мнение по данному вопросу (положительное или отрицательное), приписывалось значение 1, значение 2 присваивалось воздержавшимся и отсутствующим сенаторам, и значение 3 – тем, кто принимал положительное решение. В табл. 3.26 представлены средние значения результатов голосования для каждой переменной во всех четырех группах.

Таблица 3.26

Переменная	Группа				Среднее по группе
	1	2	3	4	
CATAID	1,422	3,000	2,200	2,100	1,900
RESTRICT	1,944	1,000	2,000	2,333	1,921
CATASIAN	1,000	3,000	2,000	1,333	1,526
MIXED	2,667	2,000	1,8000	1,667	2,211
ANTIYUGO	1,556	2,500	2,600	3,000	2.158
ANTINEUT	1,254	1,667	2,133	2,444	1.719

Из табл. 3.26 видно, что группа 1 (за помощь) не поддерживала меры, связанные с сокращением помощи, а группа 2 (против помощи) их единогласно поддерживала. Группы 3 и 4 голосовали в зависимости от конкретных мер сокращения помощи.

В общем, группы имеют тенденции давать различные значения по каждой переменной, поэтому переменные обладают свойствами дискриминантных переменных.

Однако по приведенным одномерным статистикам трудно судить о возможностях многомерной классификации. Поэтому для получения более точных результатов при разбиении объектов на классы, использовали каноническую дискриминантную функцию, имеющую вид:

$$f_{km} = u_0 + u_1 x_{1km} + u_2 x_{2km} + \dots + u_p x_{pkm},$$

где  $x_{ikm}$  – значение дискриминантной переменной  $x_i$  для  $m$ -го сенатора в группе  $k$ ,  $u_i$  – коэффициенты, которые выбираются таким образом, чтобы средние значения дискриминантной функции для различных классов как можно больше отличались друг от друга.

Роль числа классов в дискриминантном анализе поясним геометрической интерпретацией. Для любых пространств, где применяются аксиомы евклидовой геометрии, две точки определяют положение прямой линии, три точки – плоскость и т.д. То есть точки определяют пространство, имеющее размерность на единицу меньше, чем число точек. Центроиды каждого класса и задают такое пространство. За начало координат лучше всего брать «главный центроид», определяемый средними значениями совокупности объектов по каждой из осей. Относительно этого центра существует бесконечное множество ориентаций осей. Направим одну из этих осей под углом, для которого средние значения классов разделяются в большей степени, чем для любого другого направления, если есть два и более класса, то вторую и другие оси ориентируем так, чтобы обеспечить максимальное разделение классов при выполнении условия ортогональности осей. Аналогично проводятся другие оси. Тогда функция  $f_{km}$  задает преобразование  $p$ -мерного пространства дискриминантных переменных в  $q$ -мерное пространство канонических дискриминантных функций ( $q$ -максимальное число функций). Каждой  $i$ -ой оси ( $i = 2, \dots, q$ ) соответствует функция вида  $f_{km}^i$  и ее значение интерпретируется как координата объекта в пространстве канонических дискриминантных функций.

Для нахождения коэффициентов  $u_i$  построим матрицу  $T$ , элементы которой находятся из соотношения:

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^g \sum_{m=1}^n (x_{ikm} - \bar{x}_i)(x_{jkm} - \bar{x}_j)$$

где  $g$  – число классов,  $n$  – общее число наблюдений по всем классам,  $\bar{x}_i$  – среднее значение переменной  $x_i$  по всем классам. Матрицу  $T$  легко преобразовать в матрицу коэффициентов корреляции, деля каждый элемент на квадратный корень произведения двух соответствующих диагональных элементов. В табл. 3.27 представлены коэффициенты корреляции по данным табл. 3.24 и 3.26, т.е. она – общая корреляционная матрица. Из нее видно, что некоторые переменные сильно коррелированы.

Для измерения разброса внутри класса служит матрица  $W$ , элементы которой находятся из соотношения:

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^g \sum_{m=1}^{n_k} (x_{ikm} - \bar{x}_{ik})(x_{jkm} - \bar{x}_{jk})$$

где  $\bar{x}_{ik}$  – среднее значение переменной  $i$  в  $k$ -ом классе, а  $n_k$  – число наблюдений в  $k$ -ом классе. Если элементы матрицы  $W$  разделить на  $(n-g)$  получится внутригрупповая ковариационная матрица, она является взвешенным средним ковариационных матриц отдельных классов. Таблица 3.28 является матрицей внутригрупповых корреляций для данных табл. 3.24 и 3.26. Видно, что ее значения отличаются от табл. 3.27. Это обусловлено разбросом центроидов разных классов.

Введем еще одну матрицу  $B$ . Она называется матрицей межгрупповой суммы квадратов отклонений и попарных произведений. Ее элементы  $b_{ij} = t_{ij} - w_{ij}$ .

Таблица 3.27

	CATAID	RE- STRICT	CATA- SIAN	MIXED	ANTI- YUGO	ANTI- NEUT
CATAID	1					
RESTRICT	0,43	1				
CATASIAN	0,787	0,054	1			
MIXED	-0,732	-0,435	-0,677	1		
ANTIYUGO	0,534	0,470	0,498	0,638	1	
ANTINEUT	0,526	0,626	-0,829	-0,829	0,776	1

Таблица 3.28

	CATAID	RE- STRICT	CATA- SIAN	MIXED	ANTI- YUGO	ANTI- NEUT
CATAID	1					
RESTRICT	0,234	1				
CATASIAN	0,692	0,562	1			
MIXED	-0,706	-0,547	-0,834	1		
ANTIYUGO	0,334	0,647	0,386	-0,411	1	
ANTINEUT	0,469	0,744	0,0785	-0,748	0,645	1

Для нахождения  $v_i$  решаем систему уравнений

$$\begin{aligned} \sum b_{1i} v_i &= \lambda \sum w_{1i} v_i \\ \sum b_{2i} v_i &= \lambda \sum w_{2i} v_i \\ &\dots \\ \sum b_{pi} v_i &= \lambda \sum w_{pi} v_i \end{aligned}$$

где  $\lambda$  – собственное число, а  $v_i$  – последовательность из  $p$  искомым коэффициентов. Теперь построение дискриминантной функции сводится к решению системы уравнений относительно  $\lambda$  и  $v_i$  и вычислению

$$u_i = v_i \sqrt{n - g}, \quad u_0 = -\sum_{i=1}^p u_i \bar{x}_i.$$

В нашем случае для первой функции:

$$f_{km}^1 = 5,54243 + 0,8087 x_{1km} + 0,7940 x_{2km} - 4,6004 x_{3km} - 0,6957 x_{4km} - 1,114 x_{5km} + 1,4387 x_{6km}.$$

Дискриминантные коэффициенты  $u_i$  для всех трех функций показаны в табл. 3.29.

По значению функций  $f_{km}^i$  можно определить «координаты» любого объекта (в нашем случае сенатора). Так, если сенатор А при голосовании по 6 вопросам табл. 3.24 получил следующие оценки (считая, что сенатор А имеет №1) CATAID ( $x_{1,l,k}$ ) = 1,0; RESTRICT ( $x_{2,l,k}$ ) = 3,0; CATASIAN ( $x_{3,l,k}$ ) = 1,0; MIXED ( $x_{4,l,k}$ ) = 3,0; ANTIYUGO ( $x_{5,l,k}$ ) = 1,0; ANTINEUT ( $x_{6,l,k}$ ) = 1, то  $f_{km}^1 = 2,2539$ ,  $f_{km}^2 = -3,2225$ ,  $f_{km}^3 = -0,8977$ .

Аналогично рассчитываются значения дискриминантных функций для других сенаторов и по другой группе находят средние значения координат (центроид) для входящих в группу сенаторов.

Таблица 3.29

Переменная	Коэффициенты		
	Функция 1	Функция 2	Функция 3
Константа ( $u_0$ )	5,4243	3,5685	-4,3773
CATAID	0,0878	-0,5225	1,6209
RESTRICT	0,7940	-1,1177	-0,3339
CATASIAN	-4,6004	-1,1228	-1,1431
MIXED	-0,6957	-1,3160	1,1418
ANTIYUGO	-1,1114	1,1132	0,3781
ANTINEUT	1,4387	0,0422	0,200

Для классификации объектов можно ввести расстояния между объектом и каждым из центроидов классов, чтобы затем отнести объект к классу, до которого расстояние минимально. Для определения расстояния часто используется мера Махаланобиса:

$$D^2(x|G_k) = n - g \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij} (x_i - \bar{x}_{ik})(x_j - \bar{x}_{jk}),$$

где  $D^2(x|G_k)$  – квадрат расстояния от точки  $x$  (координаты объекта) до центроида класса  $k$ ,  $a_{ij}$  – элемент матрицы, обратной к  $W$ . После вычисления  $D^2$  для каждого класса относим объект в группу, до которого расстояние наименьшее.

Точность результата, т.е. правильность отнесения объекта к той или иной группе зависит, в частности, от субъективного разбиения объектов на группы. При различных разбиениях будут получаться различные результаты.

Более того, состав групп объектов, например депутатов, и сама характеристика групп со временем может меняться, что, конечно, скажется на правильности расчетов.

Используя методы, аналогичные описанным, аналитики предсказывают исход голосования, например, в думе. Однако мы часто видим, что предсказания не сбываются. Причин этому может быть много, в частности изменение состава и характера групп и предпочтений депутатов.

### 3.4 Влияние субъективности в задачах многокритериального ранжирования

#### А. Некоторые определения

Применение скалярного критерия и методов свертки, рассмотренные в разделах 3.2 и 3.3, позволяют линейно упорядочивать сравниваемые объекты, т.е. выстроить их по старшинству оценок. Ранжирование по Парето и его различным модификациям упорядочивает объекты не линейно, а во многих случаях по группам, считая, что все объекты внутри группы равноценны, т.е. осуществляет переход от линейного упорядочивания к групповому. Эта принципиальная особенность позволяет выделить его в отдельный раздел.

Методы, связанные с Парето-ранжированием обычно не относят к интеллектуальному анализу данных. Но поскольку они достаточно широко используются в различных приложениях, примеры таких методов изложены ниже.

Метод Парето, предложенный в 1927 г. для решения экономических задач – один из первых методов, позволяющих производить многокритериальное ранжирование. В тех случаях, когда нет необходимости или очень трудно учитывать «вес» критериев, а число параметров, по которым производится оценка, относительно невелико, этот метод может оказаться достаточно полезным. Он прост в реализации и требует минимум информации от эксперта или руководителя.

Метод Парето определяет строгий порядок на множестве ранжируемых элементов. Введение слабого порядка (модификация метода) уменьшает число элементов в группе, повышая качество ранжирования.

Метод Парето и его модификации, основанные на введении слабого порядка, как правило, инвариантны к приложениям. В этом разделе все методы, основанные на слабом порядке [3.42 – 3.44] даны на примере ранжирования филиалов банка. Исходные данные для примера показаны в табл. 3.30. Но если бы вместо номеров филиала про- ставить наименования фирм, выпускающих изделия одного назначения, например модемы, а вместо характеристик работы филиалов, показанных в табл. 3.30 указать стоимость, пропускную способность, характеристики надежности и т.п., то описываемые ниже методы можно было бы использовать точно так же, как в примере с филиалами банка.

Теперь введем исходные данные и некоторые определения. В качестве характеристик работы филиалов банка выбраны четыре показателя (параметра):

$D$  - процент депозитов, хранимых в филиале, относительно всех депозитов банка,

$C$  – процент кредитов, выданных филиалом, относительно всех кредитов банка,

$S$  – процент объемов торговых гарантий (securities trading) филиала по отношению к торговым гарантиям банка,

$FX$  – процент фьючерских сделок филиала по отношению ко всем фьючерским сделкам банка.

Таблица 3.30

Номер (идентификатор) филиала банка	D	C	S	FX
2	1.71	0.68	0.82	0.51
10	1.62	1.50	1.09	1.21
16	1.07	1.06	1.58	0.57
17	1.31	1.16	0.26	0.21
21	1.66	1.73	0.62	0.24

Введем отношение  $R$  такое, что:

$$xRy \text{ iff } \{ \forall l P_l(x) \geq P_l(y) + \varepsilon_l, \exists l_0 P_{l_0}(x) > P_{l_0}(y) + \varepsilon_{l_0} \},$$

где  $x$  и  $y$  – идентификаторы филиалов банков,  $P_l$  –  $l$ -ый параметр оценки филиала,  $\varepsilon_l$  – параметр «чувствительности» – порог, соответствующий каждой характеристике  $l$ . Величина  $\varepsilon_l$  определяется экспертом или руководителем на основе своих субъективных оценок или предпочтений и влияет на результаты ранжирования. Значения отношения  $R$  по данным табл. 3.30 показаны в табл. 3.31. Они сделаны при условии  $\varepsilon_l = 0.0.5$ ,  $l = \overline{1,4}$ . Если изменить значение  $\varepsilon_l$ , то результаты табл. 3.31 и всех последующих могли бы быть другими, значит, и оценка деятельности филиалов банка могла бы измениться.

Таблица 3.31

филиалы	2	10	16	17	21
2	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
21	0	0	0	1	0

Отношение  $R$  называют отношением строгого порядка, т.е. это неререфлексивное и транзитивное бинарное отношение. Однако отсутствие негативной транзитивности не позволяет сравнивать все объекты между собой.

В нашем примере филиалы 10 и 21 лучше филиала 17, филиалы 2 и 16 несравнимы с филиалами 10, 21 и 17.

Обычный подход в таких случаях – аппроксимация отношения  $R$  некоторым слабым порядком  $W$  – неререфлексивным, транзитивным и негативно транзитивным бинарным отношением. В последнем случае для любых двух объектов либо один из них лучше другого, либо они считаются равными при окончательной оценке их деятельности. В этом случае будем обозначать лучшую группу  $C_1(A)$ , следующую за ней  $C_2(A)$  и т.д., где  $A$  – ранжируемое множество объектов.

Определим теперь множество, принадлежащее верхнему контуру  $D(x)$  для объекта  $x$  как множество объектов, доминирующих  $x$  при отношении  $R$ , т.е.

$$D(x) = \{y | yRx\}.$$

Аналогично определим множество, принадлежащее нижнему контуру  $L(x)$  для объекта  $x$ , как множество объектов, доминируемых  $x$  при отношении  $R$ , т.е.

$$L(x) = \{y | xRy\}$$

### **В. Ранжирование по количеству элементов в множествах нижнего и верхнего контуров**

Определим двоичные отношения  $R_1, R_2, \dots, R_S$ :

$$xR_l y \Leftrightarrow D_{l-1}(x) \subset D_{l-1}(y),$$

где  $D_{l-1}(x) = \{z | zR_{l-1}x\}$ .

Можно показать, что на бинарное отношение  $R_S$  это слабый порядок. Для нашего примера в табл. 3.31 построим отношения  $R_1$  и  $R_2$ . Множество верхних контуров показано в табл. 3.32.

Таблица 3.32

$D_i$ \ филиалы	$D_1$	$D_2$
2	0	0
10	0	0
16	0	0
17	10,21	2, 10, 16, 21
21	0	0

В самом деле,

$$D_1(17) = \{z | zR_1 17\} = \{10, 21\}$$

$$D_2(17) = \{z | zR_2 17\} = \{2, 10, 16, 21\}$$

Отсюда видно, что отношение  $R_2$  – это слабый порядок и лучшее множество филиалов  $C_1(A) = \{2, 10, 16, 21\}$  и следующее множество  $C_2(A) = \{17\}$ .

Аналогично множеству  $D(x)$ , множество, принадлежащее  $L(x)$  определим:

$$xR_l y \Leftrightarrow L_{l-1}(x) \supset L_{l-1}(y), \text{ где } L_{l-1}(x) = \{z | xR_{l-1}z\}$$

и для нашего примера в табл. 3.32 построим отношения  $R_1$  и  $R_2$ .

$$L_1(10) = \{z | 10R_1 z\} = \{17\}$$

$$L_1(21) = \{z | 21R_1 z\} = \{17\}$$

$$L_2(10) = \{z|10R_2z\} = \{2,16,17\}$$

$$L_2(21) = \{z|21R_2z\} = \{2,16,17\}$$

Множество нижних контуров показано в табл. 3.33.

Таблица 3.33

$L_i$ филиалы	$L_1$	$L_2$
2	0	0
10	17	2, 16, 17
16	0	0
17	0	0
21	17	2, 16, 17

Таким образом,  $C_1A = \{10, 21\}$ ,  $C_2A = \{2, 16, 17\}$ . Теперь можно перейти к ранжированию по множеству элементов в нижнем и верхнем контурах множества  $A$ .

Определим функцию  $u(x)$  как разницу между числом элементов в множестве нижнего и верхнего контуров  $x$  при отношении  $R$ , т.е.  $u(x) = |L_1(x)| - |D_1(x)|$ . В нашем примере из табл. 3.32 и 3.33 получаем табл. 3.34.

Таблица 3.34

Филиалы	$u(\bullet)$
2	0
10	1
16	0
17	-2
21	1

Из табл. 3.34 видно, что множество  $A$  ранжировано на три подмножества:  $C_1(A) = \{10, 21\}$ ,  $C_2(A) = \{2, 16\}$ ,  $C_3(A) = \{17\}$ . Таким образом, функция  $u(\bullet)$  в процессе ранжирования определяет «естественный порядок» на множестве  $A$ : она выделяет объекты, которые по всем параметрам лучше других объектов, выделяет объекты, которые по всем параметрам хуже других объектов и выделяет объекты, не сравнимые с этими группами объектов, т.е. те, что не лучше лучших и не хуже худших.

### С. Ранжирование по турнирной матрице

Построим матрицу  $S^+$ , такую, что  $\forall x, y \in A$ ,  $S^+ = \{n(x, y), n(x, x) = \infty, n(x, y) = \{l | P_l(x) > P_l(y) + \varepsilon_l\}$ .

Строки и столбцы матрицы  $S^+$  соответствуют множеству альтернатив в  $A$ . Такую матрицу называют обобщенной турнирной матрицей. Поясним построение матрицы  $S^+$  на примере табл. 3.35. ( $\varepsilon_l = 0.06$  для всех  $l=1-4$ ). Заметим, что если бы  $\varepsilon_l = 0.05$ , как в предыдущем примере, табл. 3.35 имела бы другой вид и, следовательно, ранжирование филиалов могло бы измениться.

Поскольку  $n(x, y)$  показывает число «выигрышей» филиала  $x$  у филиала  $y$ , т.е. число параметров филиала  $x$  показатели которых лучше показателя тех же параметров филиала  $y$ , функция  $\omega(x) = \sum_{y, y \neq x} n(x, y)$  определяет общее число «выигрышей» филиала  $x$

у других филиалов. Таким образом, функция  $\omega(x)$ - последний столбец табл. 3.35 определяет «естественный» (по этому критерию) порядок на множестве  $A$ :  $C_1(A) = \{10\}$ ,



$C_2(A) = \{2, 16, 21\}$ ,  $C_3(A) = \{17\}$ . Заметим, что это уже второй «естественный» порядок, и он отличается от порядка раздела 3.4.В.

Таблица 3.35

	2	10	16	17	21	$\omega(x)$
2	$\infty$	1	1	3	2	7
10	3	$\infty$	3	4	2	12
16	2	1	$\infty$	2	2	7
17	1	0	2	$\infty$	0	3
21	1	1	2	3	$\infty$	7
$l(y)$	7	3	8	12	6	

Филиалы можно упорядочить и по числу проигрышей. Тогда функция  $l(x) = \sum_{x, x \neq y} n(x, y)$ , определяющая общее число «проигрышей» филиала  $x$  всем другим филиалам. Как и в предыдущем случае, функция  $l(y)$  определяет «естественный» порядок на множестве  $A$  (последняя строка табл. 3.35), но минимизируется число проигрышей. Таким образом, имеем:  $C_1(A) = \{10\}$ ,  $C_2(A) = \{21\}$ ,  $C_3(A) = \{2\}$ ,  $C_4(A) = \{16\}$  и  $C_5(A) = \{17\}$ .

Заметим, что выбор функции  $\omega(x)$  или  $l(x)$  эксперт или руководитель может сделать вполне осмысленно: что для него важнее – выиграть или не проиграть. Это в значительной степени может диктоваться обстановкой. В период подъема, «бума» обычно стремятся выиграть как можно больше, в период спада, кризиса – стараются сохранить то, что есть, не потерять.

#### D. Ранжирование по правилу Борда

Всем  $x \in A$  припишем значения  $r_i(x)$ , являющиеся кардинальным числом нижнего контура  $x$  по  $i$ -му параметру:

$$r_i(x) = |L_i(x)| = \{b \in A : P_i(x) > P_i(b) + \varepsilon_i\},$$

где  $b$  – идентификаторы филиалов, у которых значение  $i$ -го признака  $P_i(b)$  меньше значения  $P_i(x)$  –  $i$ -го признака филиала  $x$ .

Сумма этих значений образует так называемую шкалу альтернатив Борда:

$$r(x) = \sum_i r_i(x).$$

В нашем примере при допущении  $\varepsilon = 0.05$  значения  $r_i(x)$  и  $r(x)$  показаны в табл. 3.36.

Таблица 3.36

	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r$
2	3	0	2	2	7
10	2	3	3	4	12
16	0	1	4	2	7
17	1	2	0	0	3
21	2	4	1	0	7

Ранжирование проводится по правилу:

$$x \in C_1(A) \Leftrightarrow [\forall y \in A, r(x) \geq r(y)]$$

$$x \in C_2(A) \Leftrightarrow [\forall y \in A \setminus C_1(A), r(x) \geq r(y)] \text{ и т.д.}$$

Для нашего примера  $C_1(A) = \{10\}$ ,  $C_2(A) = \{2, 6, 21\}$  и  $C_3(A) = \{17\}$ .

### **Е. Сравнение результатов**

В табл. 3.37 сведены результаты ранжирования филиалов 2, 10, 16, 17 и 21 банка тремя рассмотренными выше методами.

*Таблица 3.37*

Раздел	3.4.В	3.4.С		3.4.Д
№ филиалов / функция	$u(I)$	$W(x)$	$I(x)$	$r$
2	2	2	3	2
10	1	1	1	1
16	2	2	4	2
17	3	3	5	3
21	1	2	2	2

Из анализа этой небольшой таблицы видно, что:

- филиал 10 при ранжировании всеми методами оказывается на первом месте,
- филиал 17 при ранжировании всеми методами оказывается на последнем месте (пусть читателя не смущает, что он попадает в третью группу – она последняя. Число групп определяется характером группового ранжирования),
- филиал 21 в зависимости от методов ранжирования попадает в первую или во вторую группы, но никогда не оказывается лучше филиала 10,
- филиалы 2 и 16 в зависимости от метода ранжирования попадают в разные группы, но никогда не оказываются лучше чем, филиалы 10 и 21 и хуже, чем филиал 17,
- методы различаются по чувствительности (чем больше объектов попадает в одну группу, тем менее чувствителен метод) и по порядку ранжирования.

Эти эмпирические выводы можно подтвердить и на большем статистическом материале, содержащем данные о 23 филиалах крупного банка за 1995 г. [3.42].

В табл. 3.38 показаны результаты работы филиалов по тем же параметрам, что и в табл. 3.30, а в табл. 3.39 результаты ранжирования методами, рассмотренными в разделах 3.4.В – 3.4.Д. Однако анализ табл. 3.39 показывает, что не все так хорошо, как это показалось в небольшом примере.

Несмотря на отсутствие противоречивости и согласованности некоторых контурных множеств (самых лучших и самых плохих объектов), результаты ранжирования разными методами сильно отличаются друг от друга. Например, филиал 8 в табл. 3.39 по методу ранжирования раздела 3.4.В занимает 17 место, а по методу ранжирования раздела 3.4.Д – вполне достойное 9-ое. При этом оба метода в нашем примере обеспечивают линейное ранжирование, а не групповое.

Филиал 14 в табл. 3.39 по методу раздела 3.4.В занимает 4 место, а по методу раздела 3.4.Д – 13 место.

Таким образом, несмотря на то, что методы раздела 3.4 не требуют от эксперта или руководителя личных оценок важности того или иного параметра или введения каких-либо коэффициентов, выбранный им метод, отражая его субъективные пристрастия, знание методов многокритериального ранжирования или другие личностные черты в значительной степени определяют результат ранжирования.

Таблица 3.38

№№ филиалов	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>S</i>	<i>FX</i>
1	3.42	1.26	0.81	0.51
2	1.71	0.68	0.82	0.51
3	3.72	0.64	3.38	1.22
4	2.08	1.85	0.68	1.30
5	3.63	1.63	1.68	0.98
6	5.83	2.71	3.34	2.99
7	1.97	5.78	4.06	1.55
8	3.12	1.12	1.91	0.22
9	4.02	2.15	2.74	2.98
10	1.62	1.50	1.09	1.21
11	1.93	1.00	0.19	1.61
12	2.72	0.66	2.87	0.88
13	2.78	0.81	1.65	0.71
14	2.36	2.20	1.23	1.68
15	2.13	3.93	3.07	1.47
16	1.07	1.06	1.58	0.57
17	1.31	1.16	0.26	0.21
18	2.24	0.95	1.21	1.08
19	2.66	5.59	0.92	2.64
20	2.93	1.08	2.60	0.67
21	1.66	1.73	0.62	0.24
22	4.06	0.71	0.81	0.70
23	3.11	1.54	0.98	3.85

Таблица 3.39

Раздел	3.4.B	3.4.C	3.4.D
Функция	<i>u(I)</i>	<i>W(x)</i>	<i>r</i>
№ филиала			
1	15	14	8
2	22	20	23
3	9	8	3
4	16	10	16
5	8	7	5
6	1	1	1
7	3	3	11
8	17	12	9
9	2	2	2
10	18	14	18
11	19	16	20
12	10	11	14
13	11	13	15
14	4	7	13
15	5	4	10
16	20	17	21
17	23	19	22
18	12	14	17
19	6	5	6
20	13	9	12
21	21	18	19
22	14	15	4
23	7	6	7

## *ГЛАВА 4*

### **СУБЪЕКТИВНОСТЬ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ СОЗДАНИЯ И РЕОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ (ФИРМЫ)**

#### **4.1 Характер реорганизации предприятия**

При решении управленческих проблем всегда возникает три вопроса, на которые надо дать ответ:

- где мы находимся, т.е. произвести анализ существующей обстановки – модель «что есть»;
- чего мы хотим достичь, т.е. четко сформулировать цели и параметры, по которым определяется степень достижения цели – модель «как должно быть»;
- что делать, т.е. какие необходимо принять решения и действия, чтобы достичь поставленной цели – модель задачи выработки решения.

Методы анализа обстановки были рассмотрены в главе 3, а методы построения моделей «как должно быть» и выработки решения обсуждения в главах 4 и 5.

Управление сложными социальными, экономическими и промышленными системами, как правило, происходит в условиях неполной информации, недостаточного знания закономерностей функционирования и постоянного изменения обстановки, в которой функционирует система. Поэтому процесс управления имеет итерационный характер, позволяющий учитывать динамику поведения системы, систематически оценивая ее состояние после выдачи управляющих воздействий, а в процессе принятия управленческих решений опираются как на аналитические методы анализа ситуации и прогнозирования, так и на субъективный опыт, знания и оценки экспертов и руководителя.

Появление новых промышленных технологий и острая конкурентная борьба потребовало периодической реорганизации производственных процессов. Естественно, что для решения перечисленных проблем необходимы инструментальные программные средства, которые должны решать, по крайней мере, следующие классы задач:

- аналитические – вычисление заданных экономических показателей и статистических характеристик деятельности фирмы или предприятия на основе ретроспективной информации, хранящейся в базах данных, рассмотренные в главе 3;
- имитационные – проведение на ЭВМ экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложных систем. Задачи этого класса используют для прогнозирования последствий возможных решений и действий;
- генерирующие – порождение на ЭВМ возможных вариантов решений. Задачи этого класса могут быть реализованы с использованием экспертных систем, когнитивных карт, порождающих грамматик, методами случайного поиска, генетическими алгоритмами и др.;
- оптимизационные – основанные на интеграции имитационных, многокритериальных, вероятностных и др. методов оценок вариантов управленческих решений. Задачи этого класса позволяют выбрать на множестве возможных управлений те из них, которые обеспечивают наиболее эффективное продвижение к поставленной цели.

- согласования – содержащие алгоритмы, облегчающие процедуры согласования групповых решений.

Перечисленные выше программные средства могут быть использованы, а частично уже широко используются сейчас для управления различного рода проектами. Как было сказано в главе 2, они образуют систему поддержки принятия решения.

Теперь настало время определить понятие «проект». Оно чрезвычайно широкое. Этимология слова связана с латинским словом *projectus*, что буквально значит – брошенный вперед. Под проектным решением (проектом) в широком смысле понимается замысел или план каких-либо действий в будущем. В узком смысле проект – это комплект документов по проведению каких-либо мероприятий, созданию сооружения, изделия или оказанию услуги, а также предварительный вариант некоторого документа.

Современная теория управления проектами производства трактует промышленный проект как систему сформированных в его рамках целей (например, реорганизацию предприятий), для реализации которых создаются или модернизируются физические объекты, технологические процессы, разрабатывается техническая и организационная документация, выделяются материальные, финансовые и трудовые ресурсы, а также вырабатываются управленческие решения и мероприятия по их выполнению [4.1, 4.2].

В своде знаний по управлению проектами США дано такое определение: "Управление проектом – это искусство руководства и координации людских и материальных ресурсов на протяжении жизненного цикла проекта путем применения современных методов и техники управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта" [4.3]. Заметим, что современные методы и техника управления – методы с использованием информационных технологий.

Проекты по назначению можно подразделить на [4.4]:

- инвестиционные, это проекты, главной целью которых является создание новых или обновление существующих основных фондов, требующих вложения инвестиций, это создание новых или обновление существующих предприятий. (К ним относятся и рассматриваемая в этом разделе реорганизация предприятий);
- проекты промышленной логистики, связанные с производством, транспортировкой и маркетингом;
- проекты, связанные с проектированием объектов;
- инновационные, к ним относятся проекты, главной целью которых является разработка и применение новых технологий, ноу-хау и других нововведений, обеспечивающих развитие систем;
- научно-исследовательские, целью которых является решение какой-либо научной или инженерной проблемы;
- учебно-образовательные, цель которых ясна из названия и др.

В работе рассматриваются первые два типа проектов.

Создание программных комплексов, реализующих современные информационные технологии в управлении, все чаще осуществляются методом многоагентных систем, кратко рассмотренном в главе 2.

Бурное развитие техники и острая конкурентная борьба на современном рынке говорит о том, что внедрения новых технологий, производства новых изделий и оказания новых или более качественных услуг избежать трудно (или нельзя). Все это связано в той или степени с реорганизацией фирмы (предприятия) или созданию нового предприятия (фирмы).

Заметим, что реорганизация существенно отличается от автоматизации. В процессе автоматизации добиваются более эффективной реализации существующих про-

цессов, а при реорганизации эти процессы стараются изменить. Конечно, в процессе автоматизации тоже происходят некоторые изменения, например, отказ от ручного управления агрегатами и переход на автоматическое, но характер процессов, как правило, не меняется.

В широко известной книге [4.5] компании (фирмы) подразделяются на три типа:

- компании, оказавшиеся в тяжелом положении, из которого они не видят выхода;
- компании, которые еще не находятся в тяжелом положении, однако их руководители понимают, что могут возникнуть серьезные трудности и к ним необходимо подготовиться;
- компании, находящиеся на вершине успеха, заметных трудностей в настоящее время и в перспективе не видно, но руководитель стремясь увеличить отрыв от конкурентов, отказывается от устоявшейся практики в расчете на нечто лучшее.

Первый тип компаний безнадежен, одна из основных характеристик компаний второго и третьего типа – стремление к постоянному усовершенствованию своей работы, ее реорганизации для достижения большей производительности с меньшими затратами. Реорганизации может быть подвергнута не вся компания, а только некоторые ее подразделения.

Согласно работе [4.5], реорганизация может производиться по одной из двух стратегий:

1. Постепенное, но постоянное усовершенствование производственного процесса, этот подход получил название CPI (Continuous Process Improvement), а его японский аналог TQM (Total Quality Management). Этот подход широко использовался после второй мировой войны и продолжает использоваться сейчас. В основе подхода лежит концепция управления качеством выпускаемой продукции (естественно, улучшение качества).

2. Фундаментальное переосмысление и радикальное перепланирование бизнес-процессов компании, имеющее целью резкое улучшение показателей их деятельности. Это направление получило название реинжиниринг (BPR – business process reengineering).

Основная идея BPR сначала сформулировать мощное решение, а затем найти подходящие проблемы, которые оно может преодолеть. Это одно из самых трудных вопросов реинжиниринга – выявление новых неизвестных возможностей технологии, которыми можно заменить то, что уже известно. Например, создание телевизоров, персональных компьютеров, ксерокопирование открыло совершенно новые приложения и удовлетворили потребности, которые потребители не смогли сформулировать до появления новых изделий.

Различие между реформированием (усовершенствованием) и реинжинирингом можно представить следующей табл. 4.1 [4.6, 4.7].

При всей привлекательности такой предельной классификации в жизни они часто переплетаются, т.е. отдельные подразделения фирмы подвергаются реинжинирингу в то время как другие осуществляют эволюционное развитие. Не говоря уже о том, что после проведения реинжиниринга, развитие не заканчивается, и оно может реализовываться в постепенных, поэтапных изменениях. Кроме того, предприятие может создаваться заново.

Ниже рассматриваются различные примеры реорганизации, развития и создания предприятия (фирмы). Начнем с достаточно типичного проекта создания сети предприятий обслуживания, который содержит в себе почти все элементы реинжиниринга, перечисленные в табл. 4.1: 1) радикальное решение; 2) начинается с более менее «чистой доски»; 3) выполняется одновременно (хотя в дальнейшем процесс расширения сети

может продолжаться при благоприятных условиях, но может и прекратиться); 4) на его реализацию требуется иногда значительное время (в зависимости от характера предприятия обслуживания); 5) осуществляется «сверху – вниз»; 6) может охватывать широкую сферу деятельности при достаточно высоком риске и, наконец, 7) при его реализации могут использоваться вполне современные информационные технологии.

Таблица 4.1

Наименование параметра	Усовершенствование	Реинжиниринг
Уровень изменений	Наращиваемый	Радикальный
Начальная точка	Существующий процесс	"Чистая доска"
Частота изменений	Непрерывно/единовременно	Единовременно
Требуемое время	Короткое	Длительное
Направление	Снизу - вверх	Сверху - вниз
Охват	Узкий, на уровне функций	Широкий, межфункциональный
Риск	Умеренный	Высокий
Основное средство	Статистическое управление	Использование информационных технологий для достижения совершенно новых деловых целей

В книге [4.5] формулируются 9 принципов реинжиниринга, которые при расширении предприятия (фирмы) могут реализовываться полностью или частично. Мы специально поговорим об этом в разделе 4.3, а сейчас рассмотрим вариант плана создания фирмой сети предприятий.

#### 4.2 Субъективность в компьютерной поддержке плана создания сети предприятий обслуживания

При создании сети предприятий обслуживания населения типа магазинов, кафе, автозаправочных станций и т.п. всегда встают вопросы, где их размещать, какими должны быть эти предприятия (номенклатура услуг, уровень сервиса и т.п.) и сколько этих предприятий нужно. Эти вопросы связаны с анализом финансовой рентабельности проекта, потребности в финансировании, финансовой устойчивости, реализующей проект организации, умелого и квалифицированного менеджмента и т.д. [4.1], т.е. зависят от факторов неопределенности, характерных для большинства задач принятия решений, и поэтому требуют субъективных оценок экспертов и руководителя.

Метод формирования рациональной сети предприятий обслуживания будет рассматриваться на примере сети автозаправочных станций (АЗС) [4.8].

При формировании сети предприятий первый вопрос, который возникает: какая потребность в этих предприятиях. В большинстве случаев анализ спроса делается для некоторого района. Это может быть населенный пункт, район, город или область.

Так, для автозаправочных станций расчет ведут по нормам, исходящим либо от численности населения, либо от числа машин в районе, уровня его благосостояния и других факторов. Например, если считать, что одна АЗС с 6 заправочными пистолетами должна продавать около 12 000 литров бензина в сутки, то, зная число машин в районе и их средний расход горючего, можно определить необходимое число АЗС и заправочных пистолетов.

Зная число населенных пунктов в области, число машин в них, транзитный транспортный поток на дорогах области, можно рассчитать потребность в АЗС для области. В этой работе методы определения потребности в предприятиях обслуживания не рассматриваются. Считается, что они уже выполнены и потребности известны.

Однако определением объема требуемого товара и числа точек его продажи, проблема еще не решается. Надо определить характеристики предприятий обслуживания и места их размещения. Эту задачу будем рассматривать в следующей последовательности: сначала рассматривается метод определения характеристики одной «отдельно взятой» АЗС, так как будто она находится в удаленной от других АЗС точке, и затем обсуждается методика определения рационального состава и параметров сети АЗС в крупном населенном пункте или районе.

#### ***А. Определение характеристик одной АЗС в удаленной точке***

Под этой формулировкой понимается, что в месте предполагаемого строительства других АЗС нет, и построенная АЗС будет обладать «микромонополией» на обслуживание.

Для определения параметров АЗС (как и других предприятий обслуживания) во многих случаях целесообразно провести маркетинговый анализ для выявления требований, которые, по мнению будущих клиентов, она должна была бы отвечать (попытаться сократить этот вид неопределенности).

Различные специалисты и руководители в соответствии со своим опытом и знаниями применяют разные методы маркетингового анализа. Они требуют различных расходов и дают разную степень точности и соответственно в большей или меньшей степени уменьшают этот вид неопределенности. Один из методов проведения такого анализа является опрос будущих клиентов и компьютерная обработка их ответов. Пример такого анализа применительно к проекту расширения АЗС дан в разделе 3.3.А. Он позволяет определить предпочтения клиентов к характеристикам и местам расположения АЗС. После того как такое исследование проведено, можно определить структуру и характер сети предприятий обслуживания, в нашем случае АЗС.

Введем следующие обозначения. (Они будут несколько отличаться от введенных в анализе требований к АЗС в разделе 3.3.А):

- $h$  – тип АЗС. АЗС могут подразделяться на различные типы. Выделим два типа: базовые и элитные. Базовая, как правило, удовлетворяет чисто функциональным требованиям, элитная отличается от базовой лучшим оформлением и обслуживанием, собственным фирменным стилем и избыточным количеством заправочного оборудования, торговых и ремонтных площадей, гарантирующих отсутствие очередей. В состав как базовой, так и элитной АЗС могут входить кафе разных типов, ремонтные мастерские, мойки и т.д.;

- $i$  – число заправочных пистолетов, их число определяет возможность возникновения очередей;

- $j$  – уровень бытового сервиса:  $j=0$  – отсутствие бытовых услуг,  $j=1$  – наличие туалетов,  $j=2$  – туалеты и буфет и т.д.;

- $k$  – число ремонтных мест и видов услуг.

Исходя из имеющихся в фирме ресурсов и результатов маркетингового анализа, параметры АЗС могут быть заданы ограничениями. Так, например, при ограничениях:

$$3 \leq i \leq 6, \quad 0 \leq j \leq 2, \quad 0 \leq k \leq 2, \quad h=1$$

допускается от 3 до 6 заправочных пистолетов, набор бытовых услуг: от их полного отсутствия до вариантов 1 и 2, от отсутствия услуг по ремонту до наличия двух рабочих мест, тип станции – базовая.



Через  $E_{ijk}$  обозначим прогноз затрат на строительство АЗС с  $i$  заправочными пистолетами (затраты обозначим через  $E_i$ ),  $j$ -м вариантом бытовых услуг ( $E_j$ ) и  $k$  ремонтными постами ( $E_k$ ).

Общие затраты на строительство составят:

$$(4.1) \quad E_{ijk} = E_i + E_j + E_k$$

Сюда входят стоимость проекта, земли, строительного-монтажных работ и оборудования. Конечно, на самом деле зависимость между компонентами в формуле (4.1) несколько более сложная, т.к. при объединении различного вида услуг под одной крышей экономятся затраты на землю, строительные-монтажные работы и, возможно, проектирование. Величина экономии от каждого вида совмещений обычно известна, обозначим ее через  $\Delta E_{ijk}$ , тогда (4.1) будет иметь вид:  $E_{ijk} = E_i + E_j + E_k - \Delta E_{ijk}$ , но для предварительных оценок может оказаться вполне пригодной и формула (4.1). Значения  $E_i$ ,  $E_j$ ,  $E_k$  и, если надо  $\Delta E_{ijk}$  для всех допустимых  $i, j, k$  хранятся в базе данных в СППР.

Через  $D_{ijk}$  обозначим прогноз эксплуатационных расходов АЗС с параметрами  $i, j, k$  за год – нормы эксплуатационных расходов, зависящие от параметров АЗС (транспортные, амортизационные, заработная плата и т.д.) известны и также хранятся в базе данных. Нормы расходов, как и в (4.1), будем считать:

$$D_{ijk} = D_i + D_j + D_k \text{ или } D_{ijk} = D_i + D_j + D_k - \Delta D_{ijk},$$

где  $\Delta D_{ijk}$  – экономия за счет совмещения эксплуатации различных функциональных блоков.

Прогноз дохода  $P_{ijk}$ , получаемый от эксплуатации АЗС типа  $i, j, k$  за год определим аналогично (4.1).

$$P_{ijk} = P_i + P_j + P_k,$$

где  $P_i$  – прогноз дохода от эксплуатации  $i$  заправочных пистолетов,  $P_j$  – прогноз дохода от эксплуатации  $j$ -го варианта блока бытовых услуг и  $P_k$  – прогноз дохода от эксплуатации  $k$ -х ремонтных постов.

Эффективность АЗС типа  $i, j, k$  может рассчитываться по различным формулам.

Например [4.1, 4.9],

по коэффициенту выгоды/затраты:

$$(4.2) \quad F_{ijk} = \sum_{t=1}^T \frac{P_{ijk}^t - (D_{ijk}^t + E_{ijk}^t)}{(1+r)^t},$$

где  $r$  – ставка (норма) дисконта/процента;  $t$  – индекс, обозначающий год выполнения проекта;

или по чистому дисконтированному доходу:

$$(4.3) \quad F_{ijk} = \frac{\sum_{t=1}^T P_{ijk}^t / (1+r)^t}{\sum_{t=1}^T (D_{ijk}^t + E_{ijk}^t) / (1+r)^t},$$

или по годовой эффективности:

$$(4.4) \quad F_{ijk} = \frac{P_{ijk} - (D_{ijk} + \frac{E_{ijk}}{N})}{D_{ijk} + \frac{E_{ijk}}{N}} * 100\%,$$

где  $N$  – число лет, за которые планируется окупить расходы на строительство АЗС.

Помимо (4.2) – (4.4) существуют, конечно, и другие оценки. Не рассматривая достоинства и недостатки таких оценок (их выбор во многом определяется традициями

и вкусами руководства), заметим, что в каждой фирме есть своя методика оценки рентабельности, которая и используется при оценке проекта. Формулы (4.2)-(4.4) позволяют уменьшить неопределенность и, если возможно, попытаться повысить эффективность работы своей фирмы.

Помимо оценок экономической эффективности на целесообразность строительства, аренды или покупки предприятия обслуживания, в том числе, конечно, и АЗС, влияют и другие факторы, например, требования населения данного района к характеру обслуживания, отношения с местными властями и конкурирующими фирмами и т.д. В рассматриваемом примере ограничимся только этими тремя факторами, хотя их может быть гораздо больше (экологические требования, типы эксплуатируемых автомашин и их состояние, возможность покупки «левого» бензина и т.д.).

Критериальные оценки эффективности, отношения с местными властями и фирмами даются руководителем. Они могут быть определены с помощью таблицы, аналогичной табл. 4.2, которую система поддержки принятия решений представляет руководителю. Руководитель может внести в таблицу необходимые коррективы. Табл. 4.2 ставит в соответствии проценту годовой эффективности  $F_{ijk}$  критериальную оценку  $A$ , характеру отношений с местными властями критериальную оценку  $B$ , отношениям с конкурентами оценку  $C$  и предпочтениям клиентов оценку  $G$ . Эти оценки, хотя и ориентируются в известной степени на сложившиеся нормы рынка, в значительной степени субъективны и зависят от темперамента, взглядов, возможностей и т.д. руководителя.

Таблица 4.2

Оценки Критерии	5 баллов отлично	4 балла хорошо	3 балла удовлетв.	2 балла плохо	1 балл очень плохо
Рентабельность (для формулы(8))	30%	20%	15%	10%	5%
Отношения с местными властями	Местная власть приветствует строительство АЗС на этом месте	Местная власть не возражает против строительства АЗС на этом месте	У местных властей есть некоторые возражения против строительства АЗС в этом месте	Местные власти возражают против строительства АЗС в этом месте	Местные власти резко возражают против строительства АЗС в этом месте
Отношения с конкурирующими компаниями	В этом районе другие компании не функционируют	С возможными конкурентами легко договориться	Могут быть осложнения с конкурирующими компаниями	Конкурирующие компании возражают против строительства АЗС	Конкурирующие компании резко возражают против строительства АЗС
Оценка варианта проекта будущими клиентами <b>G</b>	Более 70% клиентов предпочитают этот вариант	От 70% до 60% клиентов предпочитают этот вариант	От 60% до 50% клиентов предпочитают этот вариант	От 50% до 40% клиентов предпочитают этот вариант	Менее 40% клиентов предпочитают этот вариант

Оценка  $W$  целесообразности строительства АЗС в данном месте и с данными параметрами может быть произведена, например, с помощью одного из следующих соотношений:

$$(4.5) \quad W = K_A^G * (A/G) + K_B * B + K_C * C,$$

$$(4.6) \quad W = \frac{K_A^G * (A/G)}{K_B * B + K_C * C} \quad \text{или}$$

$$(4.7) \quad W = \frac{K_A^G * (A/G) * K_B * B}{K_C * C}$$

$$(4.8) \quad W \rightarrow \max$$

где  $K_A^G$ ,  $K_B$ ,  $K_C$  – «веса» (важность) критериев  $A/G$ ,  $B$  и  $C$ , соответственно, при оценке строительства АЗС с данными параметрами в данном месте.

В соотношениях (4.5)-(4.7) присутствует частное  $A/G$  критериальных оценок рентабельности и варианта проекта будущими клиентами. Смысл частного в том, что чем меньше клиентам нравятся параметры АЗС, тем меньше будет экономическая эффективность. Оценки  $G$  должны быть инверсными (отлично – 1, хорошо – 2, и т.д.).

Соотношение (4.5) дает сумму баллов, а функция (4.6) – «отношение» рентабельности к двум другим факторам. Смысл формулы (4.6) в том, что чем хуже отношения с местными властями и конкурентами, тем большую часть прибыли придется тратить на создание нормальных условий работы. В формуле (4.6) для  $K_B$ ,  $K_C$ ,  $B$  и  $C$  надо брать инверсную балльную оценку и оценку «веса». Смысл формулы (4.7) в том, что при определенных отношениях с властями прибыль может приумножаться (многочисленные свидетельства тому известны), а борьба с конкурентами снижает прибыль. В формуле (4.7) для  $K_C$  и  $C$  надо брать инверсную балльную оценку.

В отношении оценок (4.5)-(4.8) можно сделать замечание, аналогичное замечанию к оценкам (4.2)-(4.4) в том смысле, что возможно, конечно, использовать и другие формулы для оценок целесообразности строительства АЗС. Разница заключается в том, что оценки рентабельности, чистого дисконтированного дохода и т.п. в том или ином виде применяются повсеместно, а формализованные оценки типа (4.5)-(4.8) используются пока еще редко. При всех условиях они определяются руководителем.

Использование оценок (4.5)-(4.8) уменьшает для руководителя неопределенность, связанную с оценкой местных властей, конкурентов и клиентов, а также, связанную с оценкой ожидаемой прибыли и расходов на строительство и эксплуатацию АЗС.

Веса критериев сильно зависят от состояния фирмы и ситуации на рынке. Если фирма сильная и ставит себе задачу завоевать часть рынка, то в период завоевания рынка она может не стремиться к высоким доходам. Поэтому «вес»  $K_A^G$  может быть небольшим. Балльные оценки рентабельности тоже могут быть мягче (скажем, отлично – 20%, хорошо – 25% и т.д.).

Отношения с конкурентами и, особенно, с местными властями в этот период могут иметь очень большое значение. Поэтому «веса» критериев  $K_B$  и особенно  $K_C$  будут большими. После того, как часть рынка завоевана, и необходимо на нем закрепиться – «веса» критериев обычно меняются.

Теперь перейдем к генерации вариантов АЗС и их оценке.

Пусть, исходя из имеющихся возможностей и предпочтений клиентов, определен уже упоминавшийся диапазон параметров АЗС:  $3 \leq i \leq 6$ ,  $0 \leq j \leq 2$ ,  $0 \leq k \leq 2$ , значение  $h$  руководитель положил равным 1. Легко подсчитать, что даже для таких относительно небольших диапазонов параметров, число возможных вариантов АЗС, которые может сгенерировать СППР равно 36. Все возможные варианты показаны на графе рис. 4.1. Каждая ветвь графа образует вариант. Представлять руководителю или эксперту варианты АЗС в виде, показанном на рис. 4.1 или в каком-нибудь другом виде, например, в виде таблицы или списка – нецелесообразно. Человек не может оценить такое количество вариантов (это еще один из достаточно простых случаев). Задача СППР – оценить

все варианты с учетом субъективных предпочтений руководителя и клиентов (последние рассмотрены в разделе 3.3.А) предоставить ему несколько лучших вариантов для окончательного выбора.

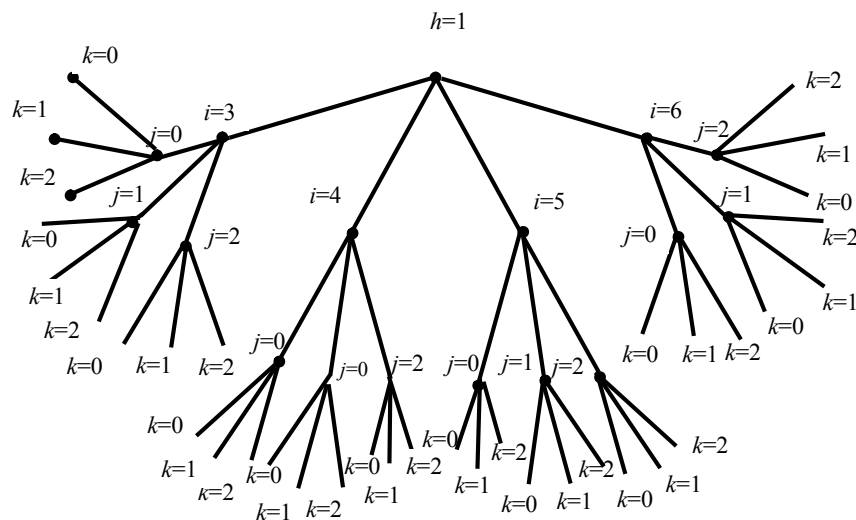


Рис. 4.1

Для их оценки необходимы следующие данные:

- $P_{ijk}$ ,  $E_{ijk}$ ,  $D_{ijk}$ , для каждого  $i$ ,  $j$ , и  $k$ , как уже отмечалось выше, эти данные хранятся в базе данных, если необходимо, то с учетом временных характеристик  $t$ ;
- периодически обновляемая величина  $F$  (для оценки по формулам (4.2), (4.3) или (4.4));
- критериальные оценки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $G$ , взятые из таблиц типа табл. 4.2 по указанию руководителя;
- «веса»  $K_A^G$ ,  $K_B$  и  $K_C$ , указанные руководителем.

Формулы типа (4.5)-(4.7), по которым руководитель предпочитает оценивать варианты, в СППР заложены заранее. Еще раз подчеркнем, что результат ранжирования зависит от используемых формул.

Пример.

Рассмотрим три варианта строительства одной АЗС:

1. В центре населенного пункта.
2. На автостраде.
3. На въезде в населенный пункт.

Имеющиеся ресурсы не позволяют строить АЗС, по своим параметрам превосходящую ограничения, показанные на рис. 4.1.

Значения функции  $F_{ijk}$ , рассчитанные по одной из формул (4.2)-(4.4) и отображенные в балльные оценки, для вариантов АЗС, показанных на рис. 4.1, расположенной в центре населенного пункта, приведены в табл. 4.3.

Из табл. 4.3 видно, что лучшие варианты АЗС – это  $F_{411}$  и  $F_{412}$ . Они различаются числом ремонтных постов и дают примерно одинаковую эффективность. Это может быть связано с тем, что капитальные затраты и эксплуатационные расходы на второй ремонтный пост окупаются медленно из-за неполной загрузки. Окончательный выбор варианта принадлежит руководителю. Аналогичная таблица составляется для значений  $G$  – оценка варианта проекта будущими клиентами (в работе не приводится). Пусть на этой таблице  $G_{411} = G_{412} = 5$  (инверсная оценка 1). Также определяются критериальные

оценки для вариантов АЗС на автостраде и на въезде в населенный пункт (вариант 2 и 3 примера).

Таблица 4.3

<i>j</i>	<i>k</i>	<i>i</i>			
		3	4	5	6
0	0	3	3,5	2,5	2
	1	3,5	4	3	2,5
	2	3,5	4	3	2,5
1	0	3,5	4	3	2,5
	1	4	4,5	3,5	3
	2	4	4,5	3,5	3
2	0	2,5	3	2	1,5
	1	3	3,5	2,5	2
	2	3	3,5	2,5	2

Пусть для варианта 1  $F^1_{411}=F^1_{412}=4,5$ , для варианта 2  $F^2_{422}=5$  и для варианта 3  $F^3_{612}=4,5$ .

Исходя из критериальных оценок табл. 4.1 и зная, что:

- для варианта 1 местные власти приветствуют строительство АЗС в центре населенного пункта, но конкуренты тоже хотели бы построить здесь АЗС и ними могут быть осложнения:  $B^1=5$ ,  $C^1=3$ ;
- для варианта 2 местные власти не возражают против строительства АЗС на автостраде, а с возможными конкурентами будет нетрудно договориться:  $B^2=4$ ,  $C^2=4$ ;
- для варианта 3 у местных властей есть некоторые возражения против строительства АЗС на въезде в город, а конкуренты не имеют планов на этот участок:  $B^3=3$ ,  $C^3=5$ .

По оценке руководителя:

- состояние фирмы таково, что она может себе позволить на период освоения части рынка не очень гнаться за прибылью, поэтому  $K^G_A=3$ ;
- так как фирма собирается развивать деятельность в этом районе, то отношения с местной властью имеют для нее важнейшее значение,  $K_B=5$ ;
- фирма понимает, что такое конкурентная борьба, старается минимизировать конфликты, но знает и свои бойцовские качества и оценивает «вес» конкурентной борьбы баллом 4 ( $K_C=4$ ).

Выбор метода оценки критерия всегда является прерогативой руководителя (или данью традициям). Если руководитель считает, что каждая из трех составляющих линейно вносит свой вклад в оценку варианта, и все составляющие суммируются, то по формуле (4.5) лучшим является первый вариант.

$$W_1 = K^G_A (A^1/G) + K_B B^1 + K_C C^1 = 3*(4,5/1) + 5*5 + 4*3 = 50,5$$

$$W_2 = K^G_A (A^2/G) + K_B B^2 + K_C C^2 = 3*(3/1) + 5*4 + 4*3 = 47$$

$$W_3 = K^G_A (A^3/G) + K_B B^3 + K_C C^3 = 3*(4,5/1) + 5*3 + 4*5 = 48,5$$

Но, если руководитель считает, что конфликты с властями и конкурентами будут существенно сказываться на результаты работы АЗС, то в соответствии с формулой (4.6):

$$W_1 = \frac{3*(4,5/1)}{1*1+2*3} = 1,92, \quad W_2 = \frac{3*(5/1)}{1*2+2*3} = 1,87, \quad W_3 = \frac{3*(4,5/1)}{1*3+2*1} = 2,7$$

Первый и третий варианты поменяются местами, и лучшим оказывается третий вариант.

Выше был рассмотрен достаточно упрощенный случай выбора параметров и места АЗС: строить или не строить на относительно пустом месте. Практически вариантов может быть гораздо больше. Часть их показана в табл. 4.4. В ней приведены примеры, при которых могут быть выполнены варианты строительства, приобретения или аренды АЗС в различных условиях экспансии компании, торгующей нефтепродуктами.

С учетом табл. 4.4 функции (4.2)-(4.4) примут вид:

$$(4.2') \quad F_{ijkhr} = \sum_{t=1}^T \frac{P_{ijk} - (D_{ijk}^t + E_{ijk} * \beta_r)}{(1+r)^t}$$

$$(4.3') \quad F_{ijkhr} = \frac{\sum_t P_{ijk} / (1+r)^t}{\sum_t (D_{ijk} + E_{ijk} * \beta_r) / (1+r)^t}$$

$$(4.4') \quad F_{ijkhr} = \frac{P_{ijk} - (D_{ijk} + \frac{E_{ijk}}{N} * \beta_r)}{D_{ijk} + \frac{E_{ijk}}{N} * \beta_r} * 100\%$$

$$\beta_r = \begin{cases} 1, & \text{если она удовлетворяет условиям } r \text{ табл. 4.4;} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Таблица 4.4

Варианты Условия экспансии <i>r</i>	Построить АЗС	Купить и экс- плуатировать АЗС	Купить и пере- строить АЗС	Арендовать АЗС
	1	2	3	4
Неудовлетворен- ный спрос в ста- бильном районе	Если рядом нет АЗС другой компании	Если ее парамет- ры удовлетво- ряют требовани- ям и цена «ра- зумная»	Если ее парамет- ры ниже требуе- мых	Если ее парамет- ры удовлетво- ряют требовани- ям и цены арен- ды «разумная»
Бурно развиваю- щийся район	Если расстоя- ние между су- ществующими АЗС достаточно велико	Если она вписы- вается в план развития сети АЗС компании, и ее параметры удовлетворяют требованиям	Если она по мес- ту расположения вписывается в план сети АЗС компании, но ее параметры не удовлетворяют требованиям	Если она по мес- ту расположения вписывается в план сети АЗС, и ее аренда прине- сет прибыль
Захват части рын- ка у других ком- паний	При благо- склонности ме- стных властей, слабости кон- курентов	При благосклон- ности местных властей и готов- ности конкурен- тов идти на сделку	При благосклон- ности властей и слабости конку- рентов	При благосклон- ности местных властей и слабом локальном управлении кон- курентов

В функциях (4.2')-(4.4') появились два новых индекса *h* и *r*. Индекс *h* появился, т.к. не введено ограничение на тип АЗС (базовая или элитная), а индекс *r* – характер

приобретения АЗС (см. табл. 4.4), от чего, конечно, зависят расходы. При этом в формулах (4.2')-(4.4') арендная плата, как и покупка, отнесена к капитальным вложениям.

Рациональный вариант ищется в соответствии с функцией (4.8), но критериальная оценка эффективность  $A/G$  находится по значениям формулы (4.2'), (4.3') или (4.4') и табл.4.2. Принципиально эта задача не отличается от рассмотренной выше задачи.

Увеличение числа индексов, конечно, увеличит перебор, но в информационном смысле не создает дополнительных трудностей. Данные о предполагаемых доходах, стоимости обслуживания и капитальных вложениях АЗС с различными характеристиками всегда используются при проектировании, покупке или аренде АЗС и хранятся в базах данных, как справочные материалы.

Аналогично рассмотренному примеру может быть проведено сравнение целесообразности строительства, покупки или аренды АЗС в других точках и выбрано наиболее целесообразное место.

Граф аналогичный, показанному на рис. 4.1, в этом случае становится гораздо более сложным и совершенно необозримым. Показывать его руководителю бессмысленно, но, используя оценки типа (4.5)-(4.7) можно выбрать несколько лучших вариантов для предъявления их руководителю с тем, чтобы он определил окончательный вариант.

### ***В. Определение состава и характеристик сети АЗС в населенном пункте или районе***

Пусть в результате маркетингового анализа определена потребность в услугах и степень их удовлетворения в районе. Эти данные приведены в табл. 4.5.

*Таблица 4.5*

Вид услуг	потребность	имеется	в том числе	
			своей компании	конкурентов
Число заправочных пистолетов	120	80	30	50
Торговых услуг				
Типа 1				
Типа 2	20	15	5	10
Типа 3	16	7	-	7
	12	4	4	-
Ремонтных мест	25	15	8	7

Требуется определить места, в которых целесообразно построить новые АЗС, расширить существующие АЗС, принадлежащие компании, попытаться купить или арендовать АЗС у конкурентов и т.д., то есть создать сеть АЗС.

В предыдущем разделе отдельные точки, в которых компания могла бы построить, купить или арендовать АЗС, рассматривались независимо друг от друга. Оценки, полученные для каждой точки, сравнивались, и выбиралась та, у которой оценка выше.

Поскольку в этом разделе рассматривается уже сеть АЗС, то необходимо определить не только форму приобретения каждой АЗС и ее характеристики, но и места их расположения. Координаты АЗС будем определять одним индексом  $l$  – номером АЗС. В СППР в соответствии каждому номеру ставятся его координаты. Место АЗС может быть показано на электронной карте или схеме района. На схеме желательно указать избыточное число возможных мест расположения АЗС, чтобы была возможность выбора.

В различных секторах района могут быть различные ситуации захвата рынка, показанные в табл. 4.4. В файлах, характеризующих объемы капитальных вложений ( $E_{ijkhr}$ ) расходы на эксплуатацию ( $E_{ijkh}$ ) и ожидаемую прибыль ( $P_{ijkh}$ ) должно учитываться влияние на них места расположения АЗС.

Таким образом, у переменных функций (4.2')-(4.4') появляется индекс  $l$  и, например, функция (4.4') имеет вид:

$$(4.4'') \quad F_{ijkhr}^l = \frac{P_{ijkh}^l - (D_{ijkh}^l + \frac{E_{ijkh}^l}{N} * \beta_r^l)}{D_{ijkh}^l + \frac{E_{ijkh}^l}{N} * \beta_r^l} * 100\%$$

Повторим, что информация о значениях  $P_{ijkh}$ ,  $D_{ijkh}$  и  $E_{ijkh}$  в базах данных системы, готовящей варианты решения, имеется.

Поскольку теперь задача заключается не в выборе одной АЗС, а рациональной сети района приходится перебирать различные варианты комбинаций расположения АЗС и их характеристик. Перебор можно организовать разными способами. Продемонстрируем возможный вариант организации перебора путем построения системой поддержки принятия решений графа. Каждая ветвь графа определяет возможный вариант сети АЗС района. Для того, чтобы построить такой граф, необходимо ввести ряд ограничений для каждой станции и в сети района на:

суммарное число  $I$  заправочных пистолетов для района

$$(4.9) \quad I_{\min} \leq \sum_l i_l \leq I_{\max},$$

суммарное число  $K$  ремонтных постов

$$(4.10) \quad K_{\min} \leq \sum_l k_l \leq K_{\max},$$

и, возможно, суммарное число  $J$  видов услуг

$$(4.11) \quad J_{\min}^1 \leq \sum_l j_l^1 \leq J_{\max}^1, \quad J_{\min}^2 \leq \sum_l j_l^2 \leq J_{\max}^2, \quad \dots \quad J_{\min}^n \leq \sum_l j_l^n \leq J_{\max}^n,$$

где  $i_l$ ,  $k_l$ ,  $j_l^q$  – число заправочных пистолетов, ремонтных постов и типов точек бытовых услуг соответственно на каждой АЗС.

Таблица 4.6

1	0					
2	2	0				
3	4	6	0			
4	5	10	2	0		
5	12	14	16	7	0	
...						
$L$	10	12	1	9	20	0
$l$	1	2	3	4	5	...
						$L$

Кроме этого могут быть введены ограничения на принадлежность некоторой пары станций на вхождение в сеть АЗС, т.е. на принадлежность к некоторой ветви графа. Такие ограничения могут быть введены, например, на расстояния между станциями. Расстояния между станциями могут быть заданы треугольной матрицей типа показанной в табл. 4.6. Пусть введено ограничение: расстояние между АЗС должно быть больше 2 км. Тогда система поддержки принятия решений введет ограничения типа (4.12) на принадлежность пар станций одной ветви графа. Это значит, что в сеть АЗС района может войти только одна из пары.



Ограничения (4.9)-(4.12) дают возможность СППР построить множество вариантов сетей АЗС населенного пункта (района).

$$(4.12) \quad \left. \begin{array}{l} x^L, x^3 \notin m \\ x^L, x^4 \notin m \\ x^1, x^2 \notin m \\ x^4, x^3 \notin m \end{array} \right\} m = \overline{1, M}$$

На рис. 4.2 показан фрагмент графа, каждая ветвь которого формирует один из вариантов сети АЗС с учетом указанных ограничений. Алгоритм генерации таких графов дан, например, в [4.10]. Каждая вершина графа рис. 4.2 обозначена  $x^l_{i,j,k,h,r}$ , где нижние индексы определяют число заправочных пистолетов ( $i$ ), уровень бытового сервиса ( $j$ ), число ремонтных постов ( $k$ ), тип АЗС ( $h$ ) и характер приобретения станции ( $r$ ), а верхний индекс – номер АЗС ( $l$ ). Заметим, что в нем явно выдержано ограничение (4.2). Например, вершины 1 и 2, 1 и 3, 4 и 3 и т.д. совместно не входят ни в одну ветвь. Нижние индексы проставляются в соответствии с характеристиками АЗС, которые СППР считает рациональными для данной точки. СППР не должна представлять руководителю или эксперту рис. 4.2 из-за очень большого числа вариантов, это бессмысленно. Человек не захочет и не сможет оценивать каждый вариант, чтобы выбрать лучший. Поэтому каждый вариант сети (ветви графа) должна оценить СППР. Оценка эффективности  $F_m$  каждой ветви графа рис. 4.2 (каждого варианта сети АЗС района) может быть произведена по формуле:

$$F_m = \sum_{l \in L_m} F^l_{ijkhr}$$

где  $L_m$  – множество индексов, принадлежащих ветви  $m$  (варианту  $m$  сети АЗС), а значение  $F^l_{ijkhr}$  определяется по одной из формул (4.2')-(4.4').

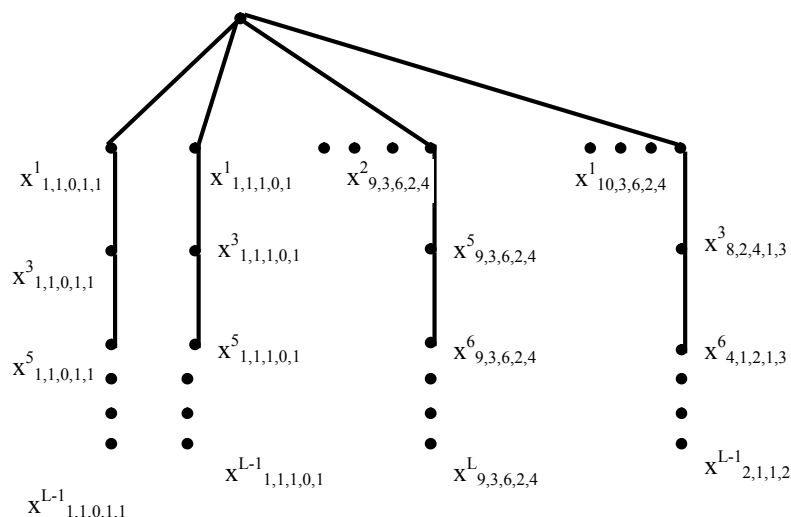


Рис. 4.2

Выбор рациональной сети АЗС с учетом интересов и предпочтений руководителя может быть осуществлен по формулам (4.5')-(4.7'), (4.8). Формулы (4.5')-(4.7') аналогичны формулам (4.5)-(4.7).

$$(4.5') \quad W_1 = \sum_{l \in L_m} K_A^G (A^l / G^l) + K_B * B^l + K_C C^l$$

$$(4.6') \quad W_2 = \sum_{l \in L_m} \frac{K_A^G (A^l / G^l)}{K_B * B^l + K_C C^l}$$

$$(4.7') \quad W_3 = \sum_{l \in L_m} \frac{K_A^G (A^l / G^l) * K_B + B^l}{K_l + K_C C^l}$$

В заключение этого раздела покажем структуру многоагентной системы поддержки плана развития сети предприятий обслуживания.

Структура агентов рис. 4.3 это уточненная для нашей задачи структура «агента управления реинжинирингом предприятия», показанная на рис. 2.6. На рис. 4.3 показаны связи агентов системы управления проектами развития сети предприятий. Многоагентная система позволяет осуществлять итерационный процесс поиска лучшего варианта решения. Агенты обмениваются данными, что позволяет им изменить свою информацию, как только она изменилась в каком-то агенте системы, и при серьезном изменении ситуации предлагать руководителю новые варианты проектов.



Рис. 4.3

### 4.3 Субъективность в компьютерной поддержке плана реинжиниринга

#### А. Принципы реинжиниринга

В известной книге [4.5] реинжиниринг (BRP – business process reengineering) определяется как фундаментальное переосмысление и радикальное перепланирование бизнес-процессов компаний, имеющее целью резкое улучшение показателей их деятельности, таких как затраты, качество, сервис, скорость и т.п. Со времен Адама Смита считалось, что люди работают наиболее эффективно тогда, когда им предлагается всего одна простая хорошо понятная им работа (операция). Однако для того, чтобы связать все простые работы вместе требуются сложные процессы. В результате принималось как должное неудобство, дороговизна и неэффективность сложных процессов, необходимых для того, чтобы использовать преимущества, обеспечиваемые выполнением простых работ.

В BPR утверждается, что для достижения высокой эффективности производства процессы, реализующие его продукцию, должны быть простыми [4.5]. Для достижения

этой цели в процессе реинжиниринга необходимо произвести реорганизацию бизнес-процессов так, чтобы они обладали следующими особенностями (характеристиками):

1. Там, где это возможно, несколько работ объединяются в одну. Характерным свойством перепроектированных процессов является отсутствие сборочного конвейера, на каждом рабочем месте которого выполняются простые задачи. Вместо этого работы, которые ранее выполнялись различными исполнителями, интегрируются в одну работу. На практике далеко не всегда при реинжиниринге удается сжать все шаги (задания) процесса в работе, выполняемой одним человеком. В этом случае создается команда, которая несет ответственность за данный процесс. Наличие в команде нескольких человек может приводить к задержкам и ошибкам, возникающим при передаче работы между членами команды, однако авторы книги [4.5] считают, что потеря здесь значительно меньше, чем при традиционной организации работ, когда они выполняются в разных подразделениях (горизонтальное сжатие процесса).

2. Исполнители в пределах своей компетенции самостоятельно принимают решения. В тех точках процесса, где при традиционной организации работ исполнитель должен обращаться к начальнику для решения вопроса, он (исполнитель) принимает решение сам, исходя из своих оценок. То есть происходит вертикальное сжатие процессов, уменьшающее временные задержки и ускоряющее реакцию на запросы клиента.

3. Шаги процесса выполняются в естественном порядке. Это значит, что там, где это возможно, работы выполняются параллельно. Отказ от линейности ускоряет работу процессов по двум причинам: многие этапы выполняются одновременно, сокращая время между началом и окончанием работ, за счет этого снижается вероятность переделывания уже выполненной работы из-за устаревшей информации или противоречий с ранее выполняемыми работами.

4. Там, где это допустимо, процессы имеют различные варианты исполнения. В современном разнообразном мире с изменяющимся рынком необходимо, чтобы процесс (или выпускаемые изделия) имел различные версии в зависимости от ситуации, входов и состояния рынка. Многовариантность процесса может включать разные способы обслуживания заявок, так в системе IBM Credit процесс имеет три версии: простые случаи (обрабатываются компьютером без участия специалистов), средние по сложности случаи (обрабатываются специалистом с помощью экспертной системы и базы данных), сложные случаи (обрабатываются специалистом с привлечением эксперта). Многовариантность, изделия подразумевает, что на производстве производятся изделия одного функционального назначения, но разных возможностей, цены, дизайна и т.д.

5. Работа выполняется там, где это наиболее целесообразно. Связи между процессами могут выноситься за рамки организационных структур для более эффективного выполнения процесса, и работа выполняется в том подразделении, в котором это удобнее, дешевле и быстрее сделать, а не там, где она выполнялась по традиционной структуре фирмы.

6. Контрольные структуры фирмы уменьшают число проверок и сокращают контроль выполняемых работ. Иногда предприятия не оценивают расходов, которые влечет за собой организация строгого контроля и прибыли, которые он дает. Прибыль может оказаться меньше расходов. Поэтому вместо того, чтобы немедленно проверить каждую операцию в перепроектированном процессе применяется групповой или отложенный контроль.

7. Минимизация согласований в процессе принятия решений. Еще один вид работ, не производящий непосредственных ценностей для заказчика. Это достигается уменьшением числа точек внешнего контакта, имеющихся в бизнес-процессе, что при-

водит к снижению вероятности получения противоречивых данных, являющихся одним из источников противоречий, требующих согласования.

8. Ответственный менеджер является единственной точкой контакта с заказчиком. Ответственный менеджер используется в тех случаях, когда шаги бизнес-процесса либо сложны, либо распределены таким образом, что интеграция их силами небольшой команды невозможна. Ответственный менеджер действует как буфер между сложным процессом и заказчиком. Менеджер ведет себя с заказчиком так, как если бы он был ответственным за весь процесс. Чтобы выполнить эту роль, менеджер должен быть способен отвечать на вопросы заказчика и решать его проблемы. Поэтому менеджер должен иметь доступ ко всем информационным системам, используемым в этом процессе, и ко всем исполнителям.

9. Сочетание централизованного и децентрализованного управления. Информационные технологии дают возможность компании позволять своим подразделениям действовать автономно, сохраняя при этом возможность пользоваться централизованными данными и указаниями по проведению общей политики.

Теперь вернемся к подсистеме поддержки принятия решений и покажем, как агент поддержки принятия решений может генерировать решения для реинжиниринга. Для упрощения примера из девяти характеристик, описанных выше, выделим шесть.

- A. Объединение нескольких работ в одну.
- B. Предъявление требований к сотрудникам низшего звена принимать самостоятельные решения в пределах их компетенции.
- C. Изменение линейного порядка выполнения этапов производства на естественный.
- D. Выполнение работ, выходящих за функции организационных структур, если такой порядок выполнения работ оказывается более эффективным.
- E. Снижение доли работ по проверке и контролю.
- F. Создание различных вариантов моделей изделия.

Надо отметить, что эти особенности достаточно тесно связаны между собой и оказывают влияние друг на друга.

Возможная схема взаимодействия агентов, реализующая правила A, B, C, D, E, F показана на рис.4.4.

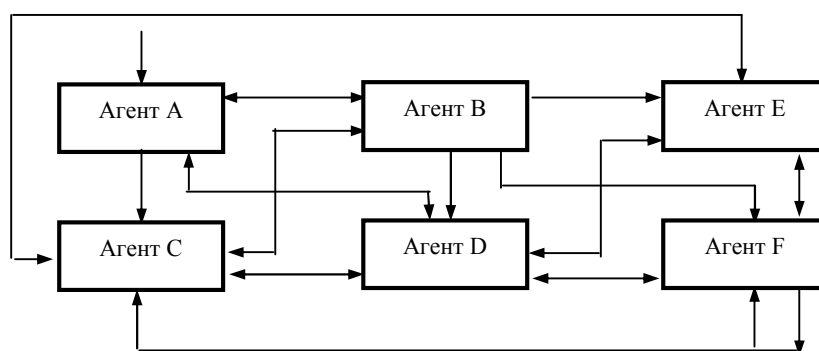


Рис. 4.4

Эта схема является составной частью агента планирования реорганизации предприятия (фирмы) рис. 2.6. Для простоты на рис. 4.4 показаны связи агентов, реализующих только шесть функций реинжиниринга из девяти. Напомним, что агент может самостоятельно организовать связь с другими агентами непосредственно или через других агентов (в нашем случае через агента планирования реорганизации предприятия) и таким образом широко использовать информационные технологии.

Как всякий проект – проект реинжиниринга должен начинаться с анализа. В предыдущем и последующих разделах (4.2 и 4.4) примеры такого анализа показаны. В разделе 4.3 анализ не проведен из-за его сложности для BRP, выходящей за пределы работы.

### ***В. Формирование цели и требований к проекту***

На начальной стадии реализации любого проекта руководитель должен ответить на вопрос – какова цель данного проекта. Как правило, ответить на этот вопрос достаточно не просто, т.к. с одной стороны, сама цель проекта часто является композицией более простых подцелей, которые в свою очередь могут быть разделены на более элементарные составляющие, с другой стороны – оценка проекта может быть осуществлена по различным, как правило, противоречивым критериям.

Выше уже отмечалось, что компьютерные технологии должны использовать как объективные, так и субъективные оценки руководителя, причем эти субъективные оценки должны быть формализованы. Одной из таких формализованных оценок является значение критерия. 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" [4.11]. Требования к проекту можно сформулировать, перечисляя критерии, которым должна соответствовать система и указывая значимость ("вес") каждого критерия. Система поддержки принятия проектных решений может предложить список критериев, который руководитель дополняет или сокращает, (так сделано, например, в [4.12]).

Первое желание руководителя – указать как можно больше критериев, пытаясь связать каждый примитивный признак с самостоятельным критерием. Затем выясняется, что критерии необходимо ранжировать по их важности (значимости) с точки зрения руководителя, а параметрические значения необходимо отображать в критериальные, увеличивая нагрузку на руководителя. Поэтому возникает желание, если не уменьшать число критериев (их неучет может привести к серьезным искажениям оценки объекта), то, во всяком случае, не увеличивать их. Из сказанного видно, что формальные методы формирования набора критериев предложить трудно. Они очень сильно зависят от знания, опыта и характера руководителя.

Как уже было сказано выше, цель проекта в нашем примере – реинжиниринг предприятия (фирмы). При такой формулировке цель выражена в самом общем виде. Для того, чтобы ее конкретизировать нужно определить критерии, по которым будет оцениваться степень достижения цели и ввести некоторую систему ценностей, с помощью которой можно оценить объект или действие по данному критерию.

В нашем примере будем исходить из того, что руководитель хочет оценивать варианты решений только по трем критериям: рентабельность, процент захвата рынка и изменение социального климата на производстве. Критериев могло быть больше (например, сокращение производственного травматизма, уменьшение загрязненности окружающей среды, внедрение новейших технологий и т.д.), но это не изменило бы методики их оценки.

После того, как критерии определены, можно сказать, что в результате реинжиниринга предприятия, оно должно отвечать следующим требованиям: повышению рентабельности, захвату части рынка и, по возможности, улучшению (или не ухудшению) социального климата.

Система поддержки принятия проектных решений может оценить ситуацию (что есть) и сформулировать цель (как должно быть), оценивая значимость ("вес") каждого мероприятия, реализующего перечисленные выше принципы. Для этого, используя ре-

зультаты интеллектуального анализа данных (методы которых рассмотрены в главе 3), и если необходимо, проводя дополнительные опросы, СППР представляет руководству фирмы таблицы, аналогичные табл. 4.5.

Здесь  $K_j^S$  это та оценка состояния фирмы по  $j$ -му критерию, которую бы руководитель хотел видеть в результате реорганизации и которая, в соответствии с результатами анализа, может быть достигнута.  $K_j^D$  – это оценка текущего состояния фирмы по  $j$ -му критерию, полученная в результате анализа. В табл. 4.5 используется десятибалльная шкала оценок.

Таблица 4.5

№ и наименование критерия	Критериальная оценка, представленная СППР			Критериальная оценка руководителя			
	Желаемая критериальная оценка ситуации по $j$ -му принципу $K_j^S$	Критериальная оценка текущего состояния по принципу $K_j^D$	$K_j^S - K_j^D$	Желаемая критериальная оценка ситуации по $j$ -му принципу $K_j^S$	Критериальная оценка текущего состояния по принципу $K_j^D$	$K_j^S - K_j^D$	Скорректированная разность $K_j^S - K_j^D$
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Рентабельность	4	1	3	8	5	3	3
2. Социальный климат на производстве	6	4	2	6	5	1	1
3. Завоевание рынка	3	2	3	6	4	2	2

Столбцы 4 и 7 табл. 4.5 показывают разность между желаемым состоянием фирмы и ее текущим состоянием. Можно считать, что, чем больше эта разность, тем больше усилий надо затратить для достижения требуемого результата. С другой стороны, с точки зрения руководства не все мероприятия могут давать одинаковый экономический эффект и, наконец, оценки, даваемые СППР и руководителем, могут не совпадать, поэтому столбец 8 табл. 4.5 показывает скорректированные руководителем значения разности  $F_j = K_j^S - K_j^D$ . Заметим, что для оценки "расстояния" между желаемым и действительным состоянием фирмы не обязательно брать разность между  $K_j^S$  и  $K_j^D$ , можно брать частное или другую функцию. Если упорядочить значения функции  $F_j$  с учетом их коррекции, получим следующий ряд:  $F_1 = 3, F_3 = 2, F_2 = 1$ .

Последовательность  $F_j$  ранжирует критерии по их важности с точки зрения руководителя, и показывает на чем надо сосредоточить внимание. Таким образом, ответы на первые два вопроса: где мы находимся и чего хотим достичь получены. Теперь надо дать ответ на третий вопрос: что делать.

### С. Генерация вариантов проектных решений

Для того чтобы ответить на третий вопрос, заданный в начале главы – «что делать», необходимо сгенерировать варианты проектных решений, оценить их и выбрать лучший. Ниже рассматривается генерация вариантов сценариев на основе комбинации частных решений.

Выше уже перечислен набор операций по реинжинирингу (операции A-F), которые руководитель готов рассмотреть в процессе реформирования предприятия.

Если предположить, что руководитель хочет реализовать изменения бизнес-процесса во время проведения BRP только последовательно, готов отказаться от реализации некоторых особенностей, но будет обязательно выполнять пункт F (создание различных вариантов моделей изделия), то СППР может сгенерировать 61 вариант решений, показанных на рис. 4.5, от самого короткого варианта F до варианта, включающего последовательное выполнение всех операций: ABCDEF. (Символ  $\emptyset$  на рис. 4.5 означает пустую операцию). Каждая ветвь графа рис. 4.5 показывает возможный вариант проведения реинжиниринга (полного или частичного).

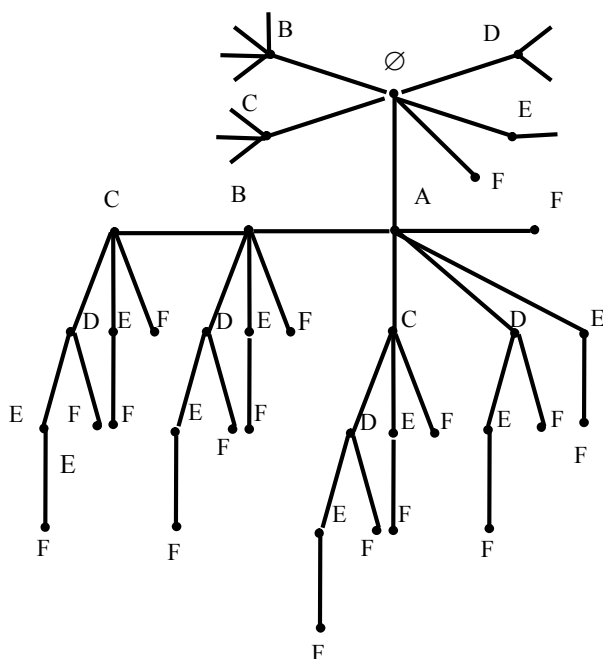


Рис. 4.5

Если учесть возможность параллельного выполнения различных операций вариантов решений будет гораздо больше. Так только последовательность ADEF с учетом возможности параллельного выполнения дает дополнительные комбинации, показанные на рис. 4.6.

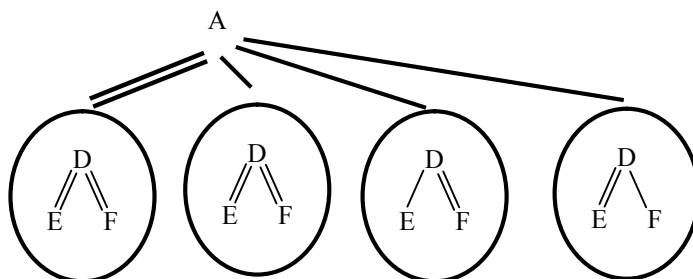


Рис. 4.6

Здесь знак = означает параллельное выполнение операций, а знак — последовательное. Наконец, возможно параллельное выполнение всех операций.

Таким образом, агент поддержки принятия решений порождает все возможные решения (сценарии действий), начиная от выполнения одиночной операции *F*, все возможные комбинации последовательного выполнения операций, комбинации последовательного и параллельного выполнения операций и, наконец, одновременного выполнения всех операций.

Появление такого большого числа вариантов само по себе не помогает ЛПП сделать выбор, т.к. оценить такое количество вариантов он не в состоянии. Это делает система поддержки принятия решений.

Она должна оценить каждый вариант и предложить руководителю один или несколько лучших (методы оценок рассмотрены в следующем разделе).

Руководитель или эксперт может резко сократить перебор, выделяя только те варианты проектных решений (сценарии), которые он считает допустимыми, отсекая все невозможные с его точки зрения комбинации. Это можно сделать так, как показано в табл. 4.6. Звездочка в клетке табл. 4.6 показывает, что символ, указанный в столбце может следовать за символом, указанным в строке. Для того чтобы обозначить параллельные действия в табл. 4.6, введен еще один символ " $\wedge$ ", обозначающий, что действия могут быть выполнены параллельно. В табл. 4.6 эти символы стоят в клетках *AB*, *AC* и *AF* (т.е. на пересечении строки *A* и столбцов *B*, *C* и *F*). Табл. 4.6 показывает один из способов влияния руководителя или эксперта на компьютерную генерацию вариантов проекта в соответствии со своими предпочтениями.

Таблица 4.6

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
<i>A</i>		* $\wedge$	* $\wedge$		*	* $\wedge$
<i>B</i>			*			*
<i>C</i>				*		*
<i>D</i>					*	*
<i>E</i>						*
<i>F</i>						

Граф последовательных и параллельных операций, соответствующий табл. 4.6, показан на рис. 4.7. На рис. 4.7 ребра, обозначенные двойной линией, обозначают, что операции *B*, *C* и *F* могут быть выполнены параллельно, а ребра *BC* и *CF* – что они могут быть выполнены также и последовательно.

На рис. 4.7 число возможных (допустимых с точки зрения руководителя) вариантов проектных решений по сравнению с числом вариантов рис. 4.5 сильно сокращено. Обычно считается, что сокращение перебора это всегда хорошо. Но вот недавно был проведен экспериментальный матч между Анандом и Карповым, в котором соперникам позволялось неограниченно пользоваться компьютерами. Результат 5:1 в пользу Ананда – никак не соответствует игровой мощи гроссмейстеров [4.13]. По поводу таких матчей Корчной заметил, «что ЭВМ не способна по-человечески оценивать позицию, но ее помощь шахматисту в расчете вариантов оказывается зачастую решающей. Как ни странно, теперь чаще побеждает не тот, кто лучше сориентировался за доской, а тот, кто имел в своем распоряжении более мощный компьютер». Но ведь сила компьютера в шахматах (и не только в них) именно в переборе позиций. Так что, может быть, есть



смысл дать возможность компьютеру рассмотреть, как можно большее число вариантов проектов с тем, чтобы компьютерная система поддержки принятия решений могла их оценить и выбрать лучший, исключая, конечно, недопустимые с точки зрения руководителя варианты.

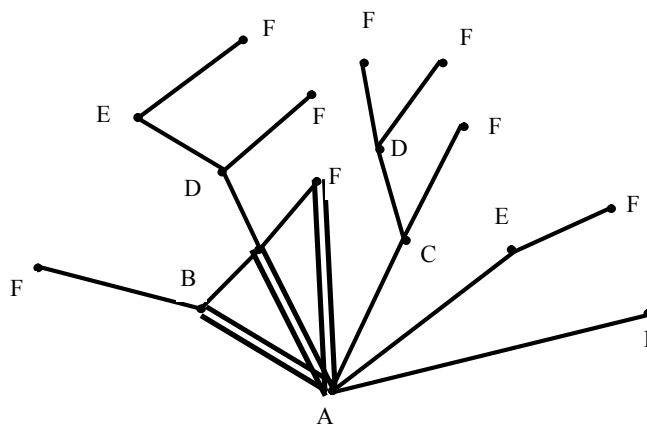


Рис. 4.7

#### ***D. Оценка вариантов решений на реинжиниринг предприятия***

Естественно, варианты можно оценивать по-разному. Один из способов приведен в [4.9]. Эффективность или рентабельность рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{S - c}{c} \times 100\%$$

где  $S$  – общая ожидаемая сумма доходов, а  $c$  – затраты вкладываемые в его осуществление. Чистый доход это  $S - c$ , а  $\mathcal{E}$  – отношение чистого дохода к расходам. Эта формула может быть применена тогда, когда разовое вложение влечет за собой разовый эффект. По ней легко судить об относительной выгодности реализации проекта, но она не учитывает время, в течение которого эффект может быть получен.

Для устранения этого недостатка может быть введен показатель годовой доходности:

$$Y = \frac{S - c}{c} \times \frac{N}{n_g} \times 100\%,$$

где  $n_g$  – число дней, в течение которых планируется осуществить сделку,  $N$  – число дней в году.

Помимо приведенных оценок существуют и другие методики оценки проектов [4.1], которые рассматривались выше. В каждом предприятии (фирме) обычно существует методика, которой эта фирма пользуется как стандартной. Эта методика и должна быть введена в систему поддержки принятия проектных решений. В дальнейшем будем использовать оценку  $Y$ .

Если бы варианты можно было оценивать только по экономическим показателям, то СППР легко справилась бы с этой задачей, получив от специалиста или взяв из базы данных оценки  $S$ ,  $C$  и  $D$  для каждой операции  $A-F$ . Но руководителю приходится учитывать гораздо большее число факторов и каждому фактору давать свою оценку, т.е. оценить для себя, что он считает хорошим, что не очень, а что плохим. Эти оценки должна учитывать СППР при ранжировании вариантов. Пример таких оценок дан в табл. 4.7 [4.14].

Таблица 4.7

Наименование этапа реинжиниринга	Условия выполнения этапа	Экономические показатели для оценки рентабельности			Возможное влияние реинжиниринга на бизнес-процесс (завоевание рынка)			Возможное влияние на социальный климат на предприятии		
		Затраты	Ожидаемые доходы	Время выполнения этапа	Характер	Знак оценки	Оценка	Характер	Знак оценки	Оценка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А. Объединение нескольких работ в одну	Переучивание персонала, отсев персонала, неспособного выполнять сложные операции	40 000	60 000	3 мес.	Завоевание рынка за счет удешевления продукции и ускорения технологического процесса	+	2% <b>важно(3)</b>	Потеря рабочих мест. Конфликт с персоналом	-  -	Потеря 30 р.м. <b>Важно (3)</b> <b>Не важно (2)</b>
В. Принятие решения рядовыми сотрудниками	Переучивание персонала, отсев персонала, неспособного принимать решения, выдвижение способных	60 000	100 000	4 мес.	Завоевание рынка за счет быстрого реагирования на запросы клиентов	+	3% <b>важно (3)</b>	Раскол коллектива. Конфликт с персоналом	-  -	<b>Важно (3)</b>  <b>Не важно (2)</b>
С. Введение естественного порядка выполнения работ	Введение информационных технологий	140 000	200 000	12 мес.	Завоевание рынка за счет возможности более быстрой перестройки производства	+	1% <b>не очень важно (2)</b>		-	
Д. Выполнение работ вне соответствия с организационными структурами	Улучшение связи между организационными структурами	50 000	80 000	6 мес.	Возможность более быстрой перестройки для завоевания рынка новыми моделями	+	4% <b>очень важно (4)</b>	Объединение коллектива	+	<b>Очень важно (4)</b>

Наименование этапа реинжиниринга	Условия выполнения этапа	Экономические показатели для оценки рентабельности			Возможное влияние реинжиниринга на бизнес-процесс (завоевание рынка)			Возможное влияние на социальный климат на предприятии		
		Затраты	Ожидаемые доходы	Время выполнения этапа	Характер	Знак оценки	Оценка	Характер	Знак оценки	Оценка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Е.Снижение доли работ по проверке и контролю	Изменение технологии контроля, отсев сотрудников, требующих постоянного контроля	40 000	90 000	10 мес.	Завоевание рынка за счет повышения качества продукции и ее удешевления	+	4% <b>очень важно (4)</b>	Потеря рабочих мест.  Конфликт с персоналом	-  -	Потеря 100 р.м. <b>Очень важно (4)</b> <b>Не важно (2)</b>
Ф. Создание различных вариантов модели изделия	Усложнение технологии производства	200 000	220 000	14 мес.	Завоевание рынка путем удовлетворения быстро растущих требований потребителей	+	5% <b>очень важно (4)</b>	Увеличение рабочих мест	+	60 новых рабочих мест <b>Важно (3)</b>
<b>Суммарная оценка по этапам А-Ф:</b>		530	750 000	49 мес.	Завоевание рынка	+	19% <b>чрезвычайно важно (5)</b>	Потеря рабочих мест  Конфликт с персоналом Раскол/объединение коллектива	-  - +	Потеря 70 рабочих мест <b>Важно(3)</b> <b>Неважно (2)</b> <b>Неважно (2)</b>
								<b>Итого</b>	-	<b>Важно (3)</b>

Система поддержки принятия решения представляет руководителю таблицу типа табл. 4.7, в которой заполнены столбцы 1-5, 6, 9 и 11. Руководитель может дополнять или изменять эти столбцы по своему усмотрению, но оценки в столбцах 7, 8, 10 и 11 он должен заполнить сам, то есть он должен проставить знак, характеризующий положительное или отрицательное влияние фактора на реинжиниринг и дать оценку этого влияния. Заметим, что в столбцы 3 и 4 оценки руководителя проставлять не надо, т.к. эта величина входит в оценку  $Y$ .

Поскольку оценку  $Y$  приходится сопоставлять с субъективными балльными оценками столбцов 8 и 11 табл. 4.7, необходимо отобразить значение  $Y$  в субъективную лингвистическую и/или балльную оценку.

Значение  $Y$  – величины годовой доходности оценивается руководителем по шкале рис. 4.8, которую представляет руководителю система поддержки принятия решений в соответствии с принятой в данный момент нормой прибыли. Руководитель может ввести необходимые коррективы. Величину  $Y$ , отображенную в лингвистическую и/или балльную оценку, будем обозначать буквой  $R$ .

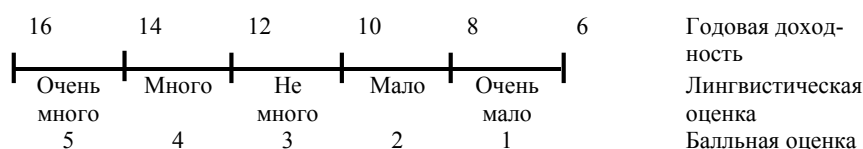


Рис. 4.8

Используя отображение  $Y \rightarrow R$ , показанное на шкале рис. 4.8, и оценки, данные в табл. 4.7, система поддержки принятия проектных решений может произвести оценку вариантов реинжиниринга. Здесь мы опять сталкиваемся с множественностью формул оценки.  $i$ -ый вариант реинжиниринга может быть оценен, например, по формулам:

$$(4.13) \quad E_i = K_R R^i + K_3 E_3^i + K_C E_C^i,$$

$$(4.14) \quad E_i = K_R R^i + \frac{K_3 E_3^i + K_C E_C^i}{R^i} \quad \text{или}$$

$$(4.15) \quad E_i = K_R R^i + \frac{K_3 E_3^i + K_C E_C^i}{C^i}$$

где  $K_R$  – "вес" критерия оценки  $R$ ,  $R^i$  – критериальная оценка годовой доходности  $i$ -го варианта реинжиниринга,  $K_C$  – "вес" критерия оценки социальных факторов. Влияние каждого социального фактора оценивается руководителем в столбце 11 табл. 4.7 лексической переменной и/или в баллах.  $E_C^i$  – сумма оценок этих факторов по каждому варианту реинжиниринга.  $K_3$  – "вес" критерия оценки влияния на завоевание рынка. Влияние каждого фактора реинжиниринга на завоевание рынка оценивается руководителем в столбце 8 табл. 4.7.  $E_3^i$  – оценка этого фактора по каждому этапу реинжиниринга.

С формулами, аналогичными формулам (4.13) – (4.15) мы уже встречались. Формула (4.13) – это просто взвешенная сумма оценок трех факторов на состояние предприятия (фирмы) при проведении  $i$ -го этапа реинжиниринга. В формуле (4.14) критериальные оценки завоевания рынка и социальных факторов делятся на оценку рентабельности. Заметим, что при этом их вклад в общую оценку сильно зависит от рентабельности. Чем больше рентабельность, тем меньше вклад.

В формуле (4.15) оценки этих же двух факторов делятся на затраты по реинжинирингу (они показаны в столбце 3 табл. 4.7). В этом случае необходимо построение шкалы, аналогичной шкале рис. 4.8, преобразующей величину затрат в лингвистическую

или балльную оценку. Как и в формуле (4.14), вклад факторов  $E_3^i$  и  $E_C^i$  зависит от величины затрат на реинжиниринг. Если оцениваются несколько этапов реинжиниринга, то значения  $E_i$  для этих этапов в  $m$ -ом варианте реализации суммируются  $E^m = \sum_i E_i$ .

Возможно, конечно, и оценки, отличные от оценок типа (4.13) – (4.15).

От выбора функции оценок сильно зависит и выбор варианта. Здесь может возникнуть серьезная трудность, на которую уже указывалось в разделе 4.2.А: если оценки рентабельности стали вполне традиционными и выбор формулы оценки, как правило, затруднений не вызывает, то методы формального учета оценок захвата рынка и социальных факторов могут вызвать затруднение. Конечно, захват рынка можно попытаться оценить через ожидаемую прибыль, в возникновение социальных проблем через убытки, но и в этом случае возникают проблемы с их оценкой.

Еще раз подчеркнем, что разница между оценками типа  $\mathcal{E}$ ,  $Y$  и (4.13) – (4.15) в том, что оценки типа  $\mathcal{E}$ ,  $Y$  стали уже традиционными, и в той или другой форме применяются повсеместно, а оценки типа (4.13) – (4.15) непривычны, и такие оценки применяются пока редко.

Необходимо отметить, что оценки типа (4.13) – (4.15) являются достаточно грубыми, т.к. в них предполагается, что все элементы бизнес-процесса независимы. Из рис. 4.4 видно, что они сильно взаимосвязаны, и поэтому реализация одного элемента бизнес-процесса оказывает влияние на эффективность других. Для более точной оценки вариантов реинжиниринга эту взаимосвязь необходимо учитывать, но для простоты изложения эта взаимосвязь в работе не рассматривается.

Теперь рассмотрим примеры оценок сценариев (решений) проведения реинжиниринга для четырех вариантов:

1. Все этапы  $A-F$  выполняются последовательно.
2. Все этапы  $A-F$  выполняются последовательно кроме этапов  $B$  и  $C$ . Этапы  $B$  и  $C$  параллельно, после выполнения последовательных этапов.
3. Все этапы  $A-F$  выполняются последовательно, кроме этапов  $B$ ,  $C$  и  $F$ .  $B$ ,  $C$  и  $F$  выполняются параллельно, после выполнения последовательных этапов.
4. Последовательно выполняются только этапы  $A$  и  $F$ .

Оценки будем производить по формулам  $Y$  и (4.14).

*Вариант 1.*

$$Y = \frac{(S - c)}{c} \times \frac{N}{n_g} \times 100 = \frac{750 - 530}{530} \times \frac{365}{1470} \times 100 = 10.3.$$

$Y$ , в соответствии со шкалой рис. 4.8, оценивается баллом 3.

$E_3$  для этого варианта в столбце 8 табл. 4.7 оценивается баллом 5.

$E_C$  для этого варианта в соответствии со столбцом 11 табл. 4.7 оценивается:

- потеря рабочих мест - 3 балла,
- конфликт с персоналом - 2 балла;
- раскол (объединение коллектива) + 2 балла.

Итого  $E_C = -3$  балла.

«Вес» каждого фактора руководитель оценил следующим образом:  $K_R = 3$  балла,  $K_3 = 2$  балла и  $K_C = 1$  балл.

Таким образом, оценка 1-го варианта:

$$E_1 = K_R R + \frac{K_3 E_3 + K_C E_C}{R} = 3 * 3 + \frac{2 * 5 - 1 * 3}{3} = 11.3 \text{ балла.}$$

*Вариант 2*

В нем меняется только значение  $Y$  за счет уменьшения времени выполнения реинжиниринга на 6 месяцев (на реализацию этапа  $B$  требуется 12 месяцев, а  $C$  - 6, они выполняются параллельно) Оценки  $E_3$  и  $E_C$  не меняются.

$$Y = \frac{750 - 530}{530} \times \frac{365}{1290} \times 100 = 11.7$$

$R$ , в соответствии со шкалой рис. 4.8, оценивается также баллом 3.

Таким образом, все составляющие  $E_1$  и  $E_2$  совпадают, естественно, совпадают и оценки  $E_2 = 11.3$  балла.

*Вариант 3.*

В нем также меняется только значение  $R$ , а оценки  $E_3$  и  $E_C$  остаются прежними (реализацию этапов  $A$ ,  $B$  и  $F$  требуется 14 месяцев).

$$Y = \frac{750 - 530}{530} \times \frac{365}{990} \times 100 = 15.3$$

$Y$ , в соответствии со шкалой рис. 4.8, оценивается баллом 5.

$$E_3 = 3 * 5 + \frac{2 * 5 - 1 * 3}{5} = 16.4 \text{ баллов}$$

*Вариант 4.*

В нем меняются оценки всех составляющих.

$$Y = \frac{280 - 240}{240} \times \frac{365}{510} \times 100 = 11.9$$

$R$ , в соответствии со шкалой рис. 4.8, оценивается баллом 3.

В соответствии со столбцом 8 табл. 4.7.

$$E_3 = 3 + 4 = 7 \text{ баллов.}$$

В соответствии со столбцом 11 табл. 4.7  $E_C = -3 - 2 + 3 = -2$ .

$$E_4 = 3 * 3 + \frac{2 * 7 - 1 * 2}{3} = 13 \text{ баллов.}$$

Таким образом, лучшим вариантом оказывается вариант 3, он и выбирается в качестве варианта реинжиниринга.

Этот вариант дает лучшую рентабельность, максимальное завоевание рынка, но и максимальное отрицательное влияние на социальный климат. Но так как, социальный климат для руководителя в сложившейся ситуации (см. табл. 4.5) имеет наименьший приоритет, то вариант 3 может его удовлетворить. Если бы ранжирование вариантов проводилось не по формуле (4.15), а по формуле (4.14), то варианты ранжирования получили бы следующие оценки:  $E_1 = 14$ ,  $E_2 = 14$ ,  $E_3 = 22$ ,  $E_4 = 17$ , т.е. ранжирование вариантов не изменилось. Это, конечно, не значит, что выбор формулы вообще не имеет значения, но в данном случае обе формулы дали один и тот же результат ранжирования.

#### **4.4 Субъективность в компьютерной поддержке поддержке плана эволюционного совершенствования производства (фирмы)**

##### ***А. Принципы эволюционного преобразования производства (фирмы)***

Как уже отмечалось выше, в основе метода СРІ (ТQM) лежит концепция управления качеством выпускаемой продукции. Качество должно удовлетворять все возрастающие текущие и будущие потребности потребителя. Потребности возрастают в связи с тем, что конкуренты предлагают новые, лучшие товары, ужесточается законодательство (например, возрастают экологические требования к двигателям автомашин и самолетов), меняются условия использования продукции и т.д.

Для выполнения этой задачи в [4.15, 4.16] были сформулированы следующие принципы преобразования бизнес-процессов на производстве.

1. Постоянное улучшение управлением производства, включающее:
  - 1.а) долгосрочное планирование;
  - 1.б) создание новых товаров (услуг);
  - 1.в) использование новых материалов;
  - 1.г) установка нового производственного оборудования;
  - 1.д) проведение научно-технических исследований;
2. Создание здорового социального климата на производстве.
3. Отказ от массового контроля качества готовой продукции.
4. Установление долгосрочных партнерских отношений с поставщиками с целью получения качественных комплектующих и/или сырья.
5. Улучшение качества, каждый следующий заказ должен выполняться лучше предыдущего - производство и обслуживание должны обеспечить это требование.
6. Обучение и повышение уровня знаний руководства.
7. Обучение, воспитание и отбор руководителей, которые могут руководить, быть лидерами в стремлении к повышению качества товаров и услуг, а не надзирателями, следящими только затем, чтобы все правила выполнялись.
8. Устранение страха потери работы за высказывание новых идей и выяснение интересующих человека вопросов.
9. Разрушение барьеров между подразделениями, сотрудники смежных подразделений должны знать о проблемах друг друга, т.к. в каждом из смежных подразделений может быть источник брака.
10. Отмена лозунгов и плакатов с призывами повышения производительности и качества продукции. В очень многих они вызывают только раздражение, т.к. техническое состояние оборудования и качество комплектующих (сырья) не зависит от исполнителя.
11. Отказ от количественных показателей, т.к. они рассчитаны на среднего рабочего, способные сделать больше - ограничиваются нормой, а те, кто не может качественно выполнить норму, в погоне за количеством производят брак.
12. Поддержание профессиональной гордости за свое предприятие, продукцию, которую оно выпускает и услуги, которые оно оказывает.
13. Поощрение образования и совершенствование в своей специальности и освоении новых технологий.
14. Создание условий успешного старта проекта, для чего необходимо, чтобы:
  - 14.а) инициатива изменений происходила, как правило, от руководителей среднего звена;
  - 14.б) убеждение высшего руководства и получение его согласия и поддержки в проведении изменений;
  - 14.в) объяснение руководителями как можно большему числу сотрудников предприятия необходимости перемен и необходимости их (сотрудников) непосредственного участия в процессе;
  - 14.г) создание группы по координации и руководству мероприятиями по улучшению качества.

Не обсуждая полноту этих принципов, правильность каждого из них и их равнозначность, попытаемся с их помощью рассмотреть возможность применения информационных технологий для их выбора.

Структура многоагентной системы для выбора сценария усовершенствования производства может состоять из агентов, собирающих и обрабатывающих информацию

по каждому из 14 принципов. На рис. 4.9 каждый принцип обозначен П1, П2 и т.д. Эти агенты, показанные на рис. 4.9, входят как в составляющие в «агент управления эволюционной реорганизацией предприятия» рис. 2.5 и поэтому тесно связаны с агентами поддержки принятия решений, представления мультимедийной информации, поиска информации, вычислительной сетью и т.д. Заметим, что связь между агентами не обязательно должна быть такой как показано на рис. 4.9.

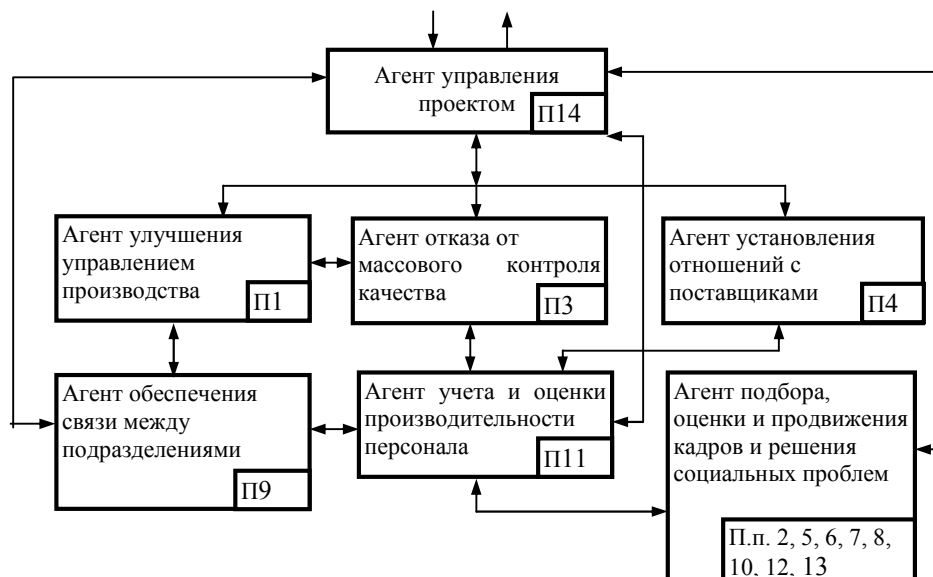


Рис. 4.9

Предположим, что пункты 14.а, 14.б и 14.г выполнены. Как всегда встает вопрос "что делать": выполнять ли все перечисленные мероприятия или только часть из них. Для ответа на этот вопрос должен быть произведен анализ ситуации.

### ***В. Анализ состояния производства***

Первое, что надо сделать, видимо, ответить на вопрос: "Что не удовлетворяет руководство сегодня?"

Информационная система может ответить, например, на следующие вопросы, характеризующие базовые показатели по оборудованию и технологии [4.17]:

- возрастной состав (структура парка технологического оборудования);
- уровень прогрессивности парка оборудования (возможность реализации современных технологий) и его структура;
- уровень планово-предупредительного ремонта и затраты на ремонт по видам оборудования;
- уровень транспортно-складского обеспечения;
- уровень технической подготовки производства (экспериментальные и инструментальные цеха);
- уровень современности технологических процессов по стадиям производства;
- уровень обеспечения качества;
- уровень метрологического обеспечения.

Вся эта информация может быть получена из распределенной базы данных по вычислительной сети. В качестве примеров методов оценки рассмотрим возможные



методы оценки двух показателей: уровень современности используемых промышленных технологий и уровень загрузки помещений.

Для оценки уровня современности используемых технологий по каждому  $j$ -му виду производительного процесса в [4.17] предлагается ранжировать все существующие возможные технологии данного производства, а затем определить коэффициент современности (новизны) используемых промышленных технологий:

$$H_{texj} = \frac{R_{j\max}}{R_j}; \quad H_{tex} = \prod_{j=1}^m H_{texj},$$

где  $H_{texj}$  - коэффициент новизны используемой промышленной технологии  $j$ -го производственного процесса ( $j = 1, \bar{m}$ ,  $m$  - количество используемых производственных процессов);  $R_{j\max}$  - ранг наиболее современной из существующих технологий для  $j$ -го процесса;  $R_j$  - ранг используемой технологии в  $j$ -ом производственном процессе на предприятии;  $H_{tex}$  - коэффициент новизны используемых технологий для всего предприятия.

Желательно, чтобы  $H_{tex} \rightarrow 1$ . Можно предложить другие оценки современности используемых промышленных технологий, например, экспертные, по среднему баллу и т.д.

При принятии решений об использовании новых технологий, конечно, важна методика оценки технологического уровня предприятия, но еще важнее отношение к внедрению новых технологий руководства фирмы. Это отношение может быть выражено шкалой, показанной на рис. 4.10.

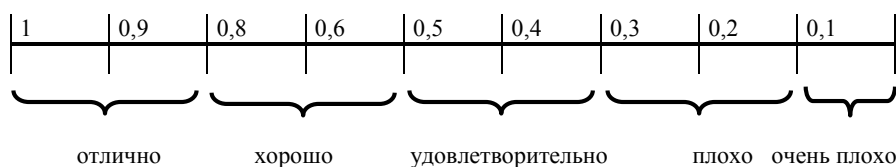


Рис. 4.10

Из рис. 4.10 видно, что руководитель не стремится иметь самые современные технологии. Оценка лучше 0,8 его вполне удовлетворяет, но оценку 0,3 он считает недопустимой.

Критериальные оценки, указанные в нижней части рис. 4.10, определяются руководителем или экспертом. Для этого на дисплее высвечивается рис. 4.10 или аналогичный ему, без нижней строки, а руководитель проставляет оценки, затем шкала записывается в базу знаний.

Для оценки эффективности полезной площади складских помещений используется два показателя: нагрузка на  $m^2$  площади пола и оценка заполненности. Первая оценка помещения осуществляется по формуле [4.17]:

$$f_{\max} = \frac{q_{зан}^{\max}}{\sigma},$$

где  $q_{зан}^{\max}$  - величина установленного запаса соответствующего материала на складе в тоннах,  $\sigma$  - площадь пола в  $m^2$ .

Зная характеристики прочности помещения, руководитель должен заботиться, чтобы не было перегрузок, которые могут привести к авариям, и чтобы прочные сооружения не заполнялись легкими материалами. Это также может быть выражено шкалой, аналогичной показанной на рис. 4.10. Также может быть произведена оценка заполненности помещений.

Такой или более глубокий и сложный анализ может быть проведен с помощью методов интеллектуального анализа данных, рассмотренных в главе 3 по каждому принципу преобразования производства, указанному в разделе 4.4.А.

Результаты анализа могут быть использованы для оценки важности каждого принципа, из перечисленных в разд. 4.4.А.

### **С. Критериальные оценки принципов эволюционного преобразования производства (фирмы)**

Выше уже отмечалось, что информационные технологии должны использовать как объективные, так и субъективные оценки руководителя, причем эти субъективные оценки должны быть формализованы. Одной из таких формализованных оценок является значение критерия. Требования к проекту можно сформулировать, перечисляя критерии, которым должна соответствовать система и указывая значимость ("вес") каждого, которым она должна отвечать.

Таблица 4.8

№ принципа	Оценка, представленная СППР			Оценка руководителя				
	Желаемая критериальная оценка ситуации по $j$ -му принципу $K_j^S$	Критериальная оценка текущего состояния по принципу $K_j^D$	$K_j^S$ $K_j^D$	Желаемая критериальная оценка ситуации по $j$ -му принципу $K_j^S$	Критериальная оценка текущего состояния по принципу $K_j^D$	$K_j^S$ $K_j^D$	Скорректированная разность $K_j^S - K_j^D$	$\gamma_j$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.а	9	8	1	9	8	1		6
1.б	8	2	6	9	1	7	6	9
1.в	6	1	5	8	1	7	6	9
1.г	8	2	6	8	4	4	5	8
2	7	7	0	7	7	0		9
3	9	2	7	9	2	7		8
4	9	9	0	8	8	0		7
5	6	2	4	8	2	6	6	6
6	8	8	0	9	3	6	6	5
7	10	4	6	10	4	6		9
8	8	3	5	8	3	5		4
9	9	9	0	9	9	0		4
10	9	9	0	9	9	0		
11	9	8	1	9	7	2	2	5
12	8	2	6	8	3	5	6	7
13	8	7	1	8	7	1		2

Используя анализ данных, проведенный с помощью методов, изложенных в главе 3, и оценки руководителя или эксперта, аналогичные показанным на рис. 4.10, система поддержки принятия решений может помочь оценить значимость ("вес") каждого мероприятия, реализующего перечисленные выше принципы. Для этого, используя имеющиеся данные, и, если необходимо, проводя дополнительные опросы, СППР представляет руководству фирмы таблицу, аналогичную табл. 4.8. Подобная таблица – табл. 4.5 уже была рассмотрена в разделе 4.3.В.

Здесь  $K_j^S$  – это та оценка состояния фирмы по  $j$ -му критерию (в нашем случае оценка дел по  $j$ -му принципу раздела 4.4.A), которую бы руководитель хотел видеть в результате реорганизации.

$K_j^D$  – это оценка текущего состояния фирмы относительно  $j$ -го критерия ( $j$ -го принципа разд. 4.4.A) В табл. 4.8 используется десятибалльная шкала оценок.

Теперь с помощью табл. 4.8 СППР находит "веса" (значимость) критерия каждого  $j$ -го принципа и дает рекомендации какие принципы реализовывать в первую очередь. Столбцы 4 и 7 табл. 4.8 показывают разность между желаемым состоянием фирмы и ее текущим состоянием. Можно считать, что, чем больше эта разность, тем больше усилий надо затратить для достижения требуемого результата. С другой стороны, с точки зрения руководства не все мероприятия могут давать одинаковый экономический эффект и, наконец, оценки даваемые СППР и руководителем могут не совпадать, поэтому столбец 8 табл. 4.8 показывает скорректированные значения разности.

$F_j = K_j^S - K_j^D$  (Заметим, что для оценки "расстояния" между желаемым и действительным состоянием фирмы не обязательно брать разность между  $K_j^S$  и  $K_j^D$ , можно брать частное или другую функцию). Если упорядочить значения функции  $F_j$  с учетом их коррекции, получим следующий ряд:  $F_3 = 7, F_{1.6} = 6, F_{1.8} = 6, F_5 = 6, F_6 = 6, F_7 = 6, F_{1.2} = 5, F_8 = 5, F_{12} = 5, F_9 = 2, F_{11} = 2, F_{1.a} = 1, F_{13} = 1, F_2 = 0, F_4 = 0, F_9 = 0, F_{10} = 0$ .

Последовательность  $F_j$  показывает оценку руководителя значимости (важности) каждого пункта раздела 4.1.A в убывающей последовательности, указывая, на чем надо сосредоточить внимание. Однако столбцы 2 и 5 табл. 8 имеют значение "желательно". Для достижения цели, указанной в этих столбцах, можно предпринять немедленные действия, а можно рассматривать указанное значение этого параметра как отдаленную цель. Здесь начинает играть роль коэффициент  $\gamma_j$  столбца 9 табл. 4.8. Он определяется руководителем на основании своих знаний и опыта и отражает его представления о важности каждого из рассматриваемых принципов для производства. Например, создание новых товаров и услуг очень важно, а отмена лозунгов - потерпит, тем более, что, судя по оценкам табл. 4.8, их осталось немного. Таким образом, значения функции  $F_j$  может быть скорректировано с учетом значения коэффициентов  $\gamma_j$ . "Вес" (значение)  $j$ -го критерия  $K_j$  можно определить как произведение  $F_j \gamma_j$ . В этом случае значения  $K_j$  образуют следующую последовательность:  $K_3 = 56, K_{1.6} = 54, K_{1.8} = 54, K_7 = 54, K_{12} = 42, K_{1.2} = 40, K_5 = 36, K_6 = 30, K_8 = 20, K_{11} = 10, K_{1.a} = 6, K_{13} = 2, K_2 = 0, K_4 = 0, K_9 = 0, K_{10} = 0$ .

Последовательность  $F_j$  может значительно отличается от последовательности  $K_j$ . Она определяет скорректированную точку зрения руководителя на степень важности реализации каждого из перечисленных выше принципов при реорганизации производства (фирмы). Конечно, какие из перечисленных выше принципов будут реализованы и в какие сроки зависит не только от степени их влияния на состояние фирмы, но и от наличия финансовых средств для реконструкции, готовности персонала, возможности остановки производства для его перекладки и множества других факторов, но последовательность  $K_j$  указывает желательную очередность этапов реализации (это не значит, что они обязательно должны выполняться последовательно, часть или все этапы могут быть проведены параллельно).

Для достижения поставленных целей разрабатываются планы мероприятий, оцениваются требуемые ресурсы и сроки их реализации. Рассмотрим один из подходов оценки эффективности [4.18]. Пусть для реализации выбраны четыре принципа, имеющие самые высокие "веса" критериев – это принципы 3, 1.б, 1.в и 7. Затраты и ожидаемый экономический эффект от них приведены в табл. 4.9.

Таблица затрат и эффекта, в котором мероприятия пронумерованы в порядке убывания эффективности и являются зависимостью "затраты - эффект". Она определяет максимальный эффект, который можно получить при заданной величине финансиру-

ния. Фактический эффект может быть меньше за счет дискретности финансирования мероприятий. Например, если имеется 140 единиц финансовых ресурсов, то невозможно реализовать принципы 3 и 1.б, требующие 160 единиц ресурса. Оптимальный вариант – реализовать принципы 1.б и 1.в, что дает суммарный эффект 380 единиц. Это меньше, чем суммарный эффект от реализации принципов 3 и 1.в, если бы их можно было бы профинансировать и реализовать частично, например, затратив 60 единиц на реализацию принципа 3 и 80 - на реализацию принципа 1.б. Тогда эффект от реализации принципа 1.б был бы 240 и суммарный эффект – 480.

Таблица 4.9

№.№ п/п	Реализуемый принцип	Затраты	Экономический эффект	Затраты нарас- тающим итогом	Экономиче- ский эффект нарастаю- щим итогом	"Вес" критерия
1	3	60	240	60	240	56
2	1.б	100	300	160	540	54
3	1.в.	40	80	200	620	54
4	7	50	50	250	670	54

Реальная зависимость "затраты - эффект", в зависимости от уровня финансирования, может быть решена с помощью так называемой задачи о ранце. Наш пример при объеме финансирования  $R$  может быть сформулирован следующим образом:

$$240x_1 + 300x_2 + 80x_3 + 50x_4 \rightarrow \max$$

$$60x_1 + 100x_2 + 40x_3 + 50x_4 \leq R$$

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если принцип с порядковым номером } i \text{ реализуется,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Полученные значения максимального эффекта при различных объемах финансирования показаны в виде табл. 4.10.

Таблица 4.10

<b>Объем финансирования</b>	40	60	100	140	160	200	250
<b>Эффект</b>	80	240	300	380	540	620	670

#### ***Д. Генерация, оценка и выбор вариантов сценариев эволюционного совершенствования производства (фирмы)***

На основании оценок  $K_i$  табл. 4.8 в табл. 4.9 показаны четыре принципа, реализация которых может дать наибольший эффект. Но уже из предварительного анализа табл. 4.9 ясно, что при ограниченных ресурсах (а отсутствие ограничения ресурсов редкое исключение) может оказаться целесообразным выбрать не набор принципов, указанный в табл. 4.9, а какой-нибудь другой набор принципов. Для этого необходимо, чтобы система поддержки принятия решений умела генерировать различные комбинации принципов совершенствования производства, их оценивать и выбирать лучший вариант. Эти вопросы уже были рассмотрены в разделах 4.2 и 4.3. Теперь рассмотрим задачу генерации, оценки и выбора вариантов сценария с помощью генетических алгоритмов, рассмотренных в разделе 3.2.А.

Напомним, что для генерации решений методом генетических алгоритмов необходимо:

1. задать исходный список операций, из которых возможно сгенерировать сценарии будущих действий;

2. задать функцию или алгоритм оценки комбинации этих действий (оценки сценариев);
3. с помощью операторов генетических алгоритмов создать новый список операций (или комбинацию операторов) - претендентов на включение в сценарий;
4. оценить комбинацию операций из нового списка с помощью заданной функции или алгоритма;
5. выбрать лучшие варианты. Если один из них удовлетворяет руководителя или специалиста - процесс закончен, если нет - повторяются пункты 1-5.

Поясним рассмотренные выше правила 1-5 примером.

1. Зададим исходный список операций, из которых можно сгенерировать сценарии будущих действий.

Вернемся к табл. 4.9. Наибольший "вес" приоритета в нашем примере оказался у принципа 3 - отказ от массового контроля. Но возможно его целесообразно реализовывать не сразу, а постепенно: сначала у изделия 1 (обозначим это  $\alpha_3^1$ ), затем у изделия 2 ( $\alpha_3^2$ ) и т.д. Тогда мы получим вектор  $\alpha_3^1, \alpha_3^2, \dots, \alpha_3^n$  обозначений изделий, технологию которых требуется улучшить и за счет этого отказаться от массового контроля этих готовых изделий. Варианты этого вектора можно представить в виде исходного набора хромосом, показанном на рис. 4.11.

Хромосома 1	$\alpha_3^4$	$\alpha_3^2$	....	$\alpha_3^6$
Хромосома 2	$\alpha_3^1$	$\alpha_3^4$	....	$\alpha_3^n$
Хромосома $m$	$\alpha_3^2$	$\alpha_3^1$	....	$\alpha_3^5$

Рис. 4.11

На рис. 4.11 показана "популяция" возможных сценариев постепенного отхода от массового контроля. В хромосоме 1 сначала отказываются от массового контроля изделия, обозначенного  $\alpha_3^4$ , затем от изделия, обозначенного  $\alpha_3^2$ , и т.д. Аналогично показана возможная последовательность отказа от массового контроля в других хромосомах. Заметим, что для того, чтобы получить все возможные варианты сценариев методом генетических алгоритмов достаточно выписать хромосомы, содержащие все "гены"  $\alpha_j^i$ , из которых будут формироваться сценарии. Увеличение списка предположительно лучших хромосом, заданных руководителем или экспертом может сократить перебор, осуществляемый в поисках лучшего потомка.

Длина хромосомы потомка может быть равна длине хромосомы родителя, но можно включить алгоритм мутации, порождающий "пустые" гены и тогда хромосома потомка будет содержать меньшее число обозначений изделий, чем хромосома родителей. В тех случаях, когда порядок расположения генов в хромосоме не имеет значения, будем считать, что хромосомы отличаются друг от друга только набором генов, т.к. отличие в их расположении не учитывается. В нашем случае, это значит, что, выбрав некоторое число изделий для отмены в их производстве массового контроля, решено отменить массовый контроль сразу для всех отобранных изделий.

Следующим по приоритету табл. 4.9 является принцип 1.б введения новых товаров и услуг. Точно также создается список новых товаров и/или услуг и формируется вектор их обозначений:  $\alpha_{1б}^1, \alpha_{1б}^2, \dots, \alpha_{1б}^k$ . Этот вектор представляется в виде набора хромосом, аналогичного показанному на рис. 4.11.

Точно также строятся наборы хромосом с наименованиями новых материалов, которые предполагается использовать в уже производимых изделиях (принцип 1.в) и наименованием мероприятий, обеспечивающих обучение, воспитание и отбор руководителей, способных обеспечить успех и процветание фирмы (принцип 7).

Система поддержки принятия решений формирует набор хромосом, объединяя хромосомы, содержащие гены:  $\alpha_3^i$ ,  $\alpha_{16}^i$ ,  $\alpha_{16}^i$ , и  $\alpha_7^i$ . На рис. 4.12 показана "популяция" объединенных хромосом  $\alpha_3^i$  и  $\alpha_{16}^i$ . Объединение хромосом также происходит методом генетических алгоритмов (пункты 2-5 описываются ниже).

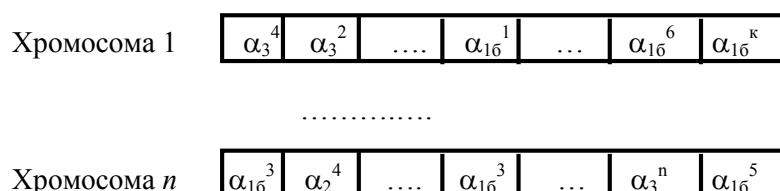


Рис. 4.12

2. Зададим функцию или алгоритм оценки полученных хромосом потомков (сценариев).

Каждое  $\alpha_j^i$  будем оценивать по принципу метода окупаемости [4.19]. Он определяется величиной начальных инвестиций  $I_n$ , прогнозом годового дохода  $D_e$  и прогноза годовых затрат  $Z_e$ . Срок окупаемости  $T_{ок}$  можно определить в виде.

$$T_{ок} = \frac{I_n}{D_e - Z_e}$$

Для отказа от массового контроля каждого узла необходимы инвестиции, связанные с усовершенствованием технологии производства данного узла, пусть для  $\alpha_3^1$  они равны 50000 ед., ожидаемый доход за счет отказа от массового контроля должен составить 45000 ед., а годовые затраты на производство узла равны 35000 ед. Тогда для  $\alpha_3^1$ :

$$T_{ок}^{\alpha_3^1} = \frac{50000}{45000 - 35000} = 5 \text{ лет}$$

Аналогично рассчитываются  $T_{ок}$  для всех остальных  $\alpha_3^i$ . Недостаток этого метода в том, что он может дать одну и ту же оценку разным объемам инвестиций.

Например,  $T_{ок} = \frac{10 \text{ ед}}{4 \text{ ед.} - 2 \text{ ед.}} = 5 \text{ лет}$ , т.е. оценка окупаемости одна и та же, а суммы

инвестиций, доходов и затрат различаются очень сильно. Поэтому ограничиваться только сроком окупаемости при выборе метода нельзя и нужно вводить дополнительные оценки, например, ограничения на объем инвестиций. Но сейчас важно показать пример оценки составляющих "хромосомы" и оценка  $T_{ок}$  срока окупаемости может служить хорошей иллюстрацией.

Для определения эффективности введения новых товаров и услуг (принцип 1.б) производится оценка каждой составляющей  $\alpha_{16}^i$  вектора, например по оценке  $T_{ок}$ , т.е. оценивается величина первоначальных инвестиций на закупку лицензий, оборудования, обучение персонала и т.д., сумма ежегодных затрат – материалы, комплектующие, амортизация и т.п. и ожидаемая прибыль.

Для оценки эффективности использования новых материалов (принцип 1.в), которые должны заменить некоторые из используемых в настоящее время, также производится оценка срока окупаемости внедрения каждого материала.

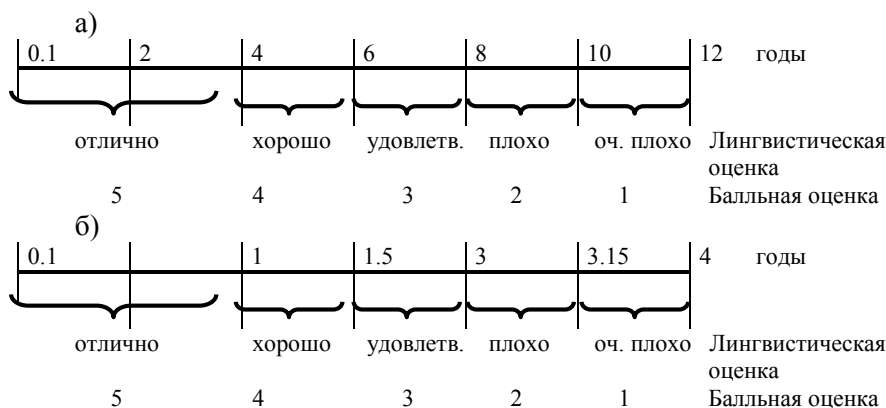


Рис. 4.13

Для определения критерия эффективности введем базовые шкалы, для критериальной оценки среднего времени окупаемости по каждому принципу. Так отказ от массового контроля готовых изделий (принцип 3) может оказаться более длительным процессом, чем, скажем, введение новых товаров и услуг (принцип 1.б) (конечно это зависит от характера товаров и услуг и типа готовых изделий). Пример базовой шкалы для критериальной оценки срока окупаемости отказа от массового контроля готовых изделий показан на рис. 4.13-а, а введение новых товаров и услуг на рис. 4.13-б. На верхней части рис. 4.13 указано среднее время окупаемости (лет), а внизу – критериальная оценка руководителя. СППР высвечивает на экране дисплея верхние части рис. 4.13-а и 4.13-б, а лингвистические и балльные оценки руководитель или эксперт указывает сам в соответствии со своими предпочтениями.

Критериальную оценку срока окупаемости  $i$ -го изделия (новой услуги, нового материала) по  $j$ -му принципу обозначим  $T_j^i$ . При критериальной оценке хромосомы, описывающей выполнение  $j$ -го принципа, необходимо учитывать "вес"  $j$ -го критерия.

Поэтому критериальная оценка времени окупаемости  $T_j = K_j \sum_{i=1}^{I_j} T_j^i$ .

Тогда критериальная оценка времени окупаемости, описываемая  $m$ -ой хромосомой

$$T_m = \sum_{j=1}^J T_j = \sum_{j=1}^J K_j \sum_{i=1}^{I_j} T_j^i.$$

Заметим, что для оценки составляющих вектора воспитания и отбора руководителей функция  $T_{ок}$  вряд ли подходит, т.к. оценить величину  $D_2$  от мероприятий по обучению, воспитанию и отбору кадров вряд ли возможно. Здесь приходится пользоваться субъективными оценками специалиста или руководителя. Обозначим оценку каждого  $i$ -го мероприятия по  $j$ -му (в нашем случае 7-му) принципу через  $L_j^i$ . Аналогично оценке  $T_j$  получаем  $L_j = K_j \sum_{i=1}^I L_j^i$ .

Теперь критериальная оценка  $m$ -ой хромосомы описывающей сценарий реализации принципов 3, 1.б, 1.в, 7 будет иметь вид:

$$T_m = K_3 \sum_i^I T_3^i + K_{1б} \sum_i^I T_{1б}^i + K_{1в} \sum_i^I T_{1в}^i + K_7 \sum_i^I L_7^i,$$

где  $K_3 = 56$ ,  $K_{1б} = 54$ ,  $K_{1в} = 54$ ,  $K_7 = 54$  (см. разд 4.4.С).

Подставляя значения  $T_j^i$  ( $j = 3, 1.б, 1.в$ ) и  $L_7$  значения  $T_j^i$  и  $L_7^i$  (в примере не указаны), находим значения  $T_m$  для каждой хромосомы (сценария).

3. С помощью операторов генетических алгоритмов СППР создает новую комбинацию операций претендентов на включение в сценарий. Схема работы СППР по генерации и оценке новых хромосом (сценариев) показана на рис. 3.4 и 3.5.

4. Производится оценка полученных потомков, и выбираются лучшие. Заметим, что поскольку функция оценки  $T_m$  в нашем случае аддитивна, то для сокращения перебора лучшие хромосомы (сценарии) можно выбирать отдельно по каждому принципу, а потом их склеить. Подчеркнем, что так можно делать только при аддитивности функции.

5. Лучшие варианты предъявляются руководителю, если один из них удовлетворяет руководителя, то его и реализует, если нет – цикл пунктов 1-5 повторяется. Выбранный вариант является основой плана реорганизации фирмы, естественно требующий серьезнейшей дальнейшей работы, как по планированию, так и по реализации.



## **ГЛАВА 5**

### **СУБЪЕКТИВНОСТЬ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

#### **5.1 Оперативное управление**

В предыдущей главе при рассмотрении методов принятия решения не рассматривалась динамика реализации проекта во времени. Неявно предполагалось, что принятое решение реализуется с момента его принятия и однозначно определяет результаты всего проекта в целом. Такое описание проекта адекватно многим реальным ситуациям, но, конечно, далеко не всегда.

Есть класс задач управления, в котором изменение ситуации предопределено, т.е. считается, что параметры факторов, воздействующих на управляемую систему, меняются, а задача управления заключается в реагировании на эти изменения. Это реагирование и будем считать оперативным управлением.

Может быть первыми методами, использующими информационные технологии для оперативного управления, были сетевые графики (их часто называли системами ПЕРТ), которыми увлекались в шестидесятых годах. Во многих случаях их применение давало большой эффект. Сейчас информационные технологии широко используются для сбора данных, их анализа и оценки сложившейся ситуации. Методы анализа во многих случаях остаются традиционными, но их реализация осуществляется на вычислительных сетях с использованием современных способов информационного поиска и анализа информации, рассмотренных в главе 3.

Управляющие воздействия могут быть самые различные: купить недостающее сырье или комплектующие изделия, изменить ценовую политику фирмы, начать агрессивную рекламную политику, сократить или увеличить штат какого-либо подразделения фирмы и т.д. Все эти воздействия более-менее традиционны, но решение на их реализацию, а во многих случаях и сама реализация осуществляется с помощью современных компьютерных средств.

В этой главе в качестве примера рассматривается две задачи оперативного управления: управление переработкой и транспортировкой нефтепродуктов в соответствии с требованиями потребителей и возможностями нефтеперерабатывающих заводов и управление системой промышленной логистики.

#### **5.2 Субъективность в оперативном управлении процессом переработки и транспортировки нефти**

##### ***А. Формирование субъективных оценок руководителя с помощью системы поддержки принятия решений***

Рассмотрим многоуровневую систему переработки продукта, состоящую из источников поступления этого продукта (мест добычи или производства исходного продукта), предприятий его переработки и системы оптового складирования – баз, из которых переработанный продукт поступает в розничную торговлю. Эта схема достаточно типична для многих производств непрерывного типа: химических, нефтеперерабатывающих, цементных и др.

Будем рассматривать эту задачу на примере нефтеперерабатывающего производства. В этом случае источник поступления продукта – место нефтедобычи или база сырой нефти, предприятия переработки – нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) и места складирования – базы хранения продуктов переработки нефти.

Компьютерная система поддержки плана переработки и транспортировки нефти определяет [5.1]:

- количество нефти, поставляемое из каждого источника на задействованные в переработке нефти НПЗ;
- объемы переработки нефти и количество получаемых продуктов на каждом НПЗ;
- количество продуктов нефтепереработки, получаемых каждой нефтебазой от каждого НПЗ.

В процессе выработки лучшего варианта плана система генерирует возможные варианты, оценивает каждый вариант с учетом субъективных предпочтений руководителя и предъявляет руководителю один или несколько лучших вариантов для окончательного утверждения.

На рис. 5.1 показана структура системы поддержки принятия решений так, как ее видит пользователь. Для него система, естественно, разбивается на три подсистемы: связанные, соответственно, с источниками нефти, НПЗ и нефтебазами. Они объединены общей базой данных и генерацией вариантов планирования. Многоагентная структура этой системы показана на рис. 5.2. Она, конечно, отличается от структуры, которую себе представляет пользователь. Но пользователь может об этой структуре не знать. На рис. 5.3 показаны связи источников нефти (источники обозначены И\_1, И\_2 и т.д.), НПЗ и нефтебаз. Из рис. 5.3 видно, что количество вариантов маршрутов от источника нефти до нефтебазы может быть достаточно большим и выбор наилучшего варианта с учетом возникающих ограничений, максимизации прибыли и предпочтений руководителя – большая переборная задача.

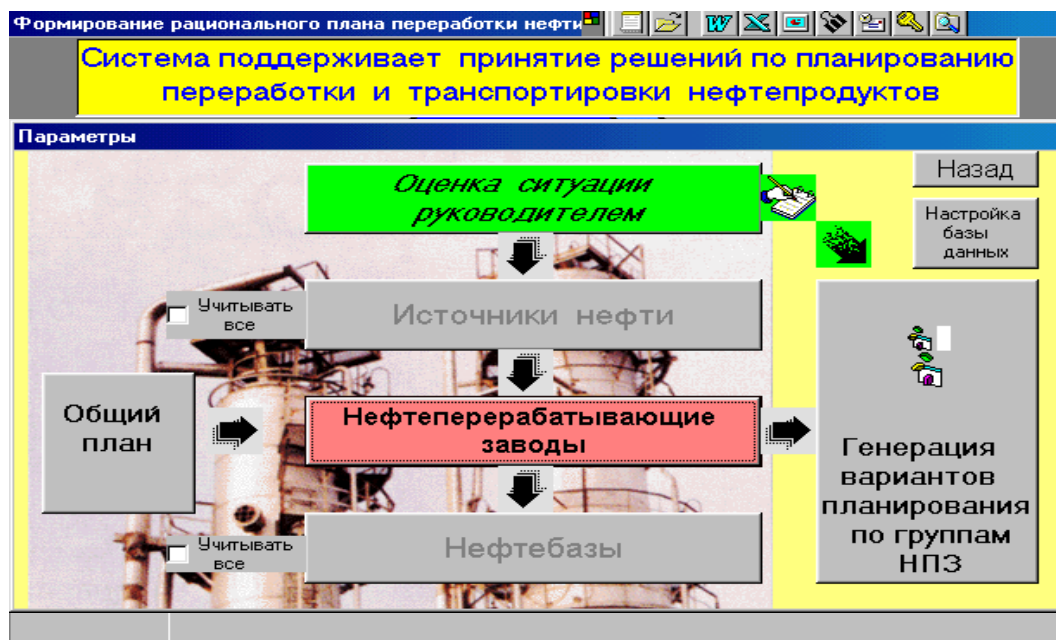


Рис. 5.1

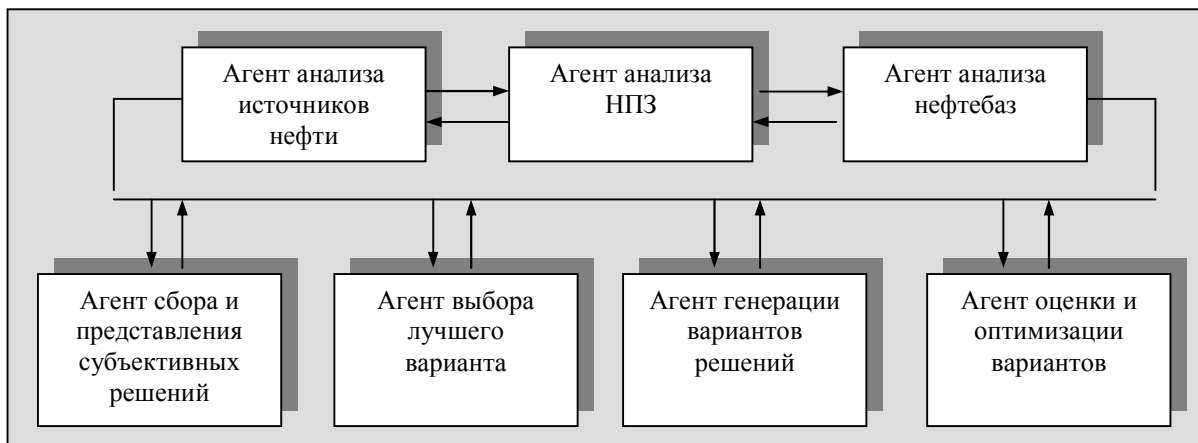


Рис. 5.2

На рис. 5.3 показаны все возможные маршруты доставки нефтепродуктов. Часть этих маршрутов по каким-либо причинам может быть запрещена для использования.

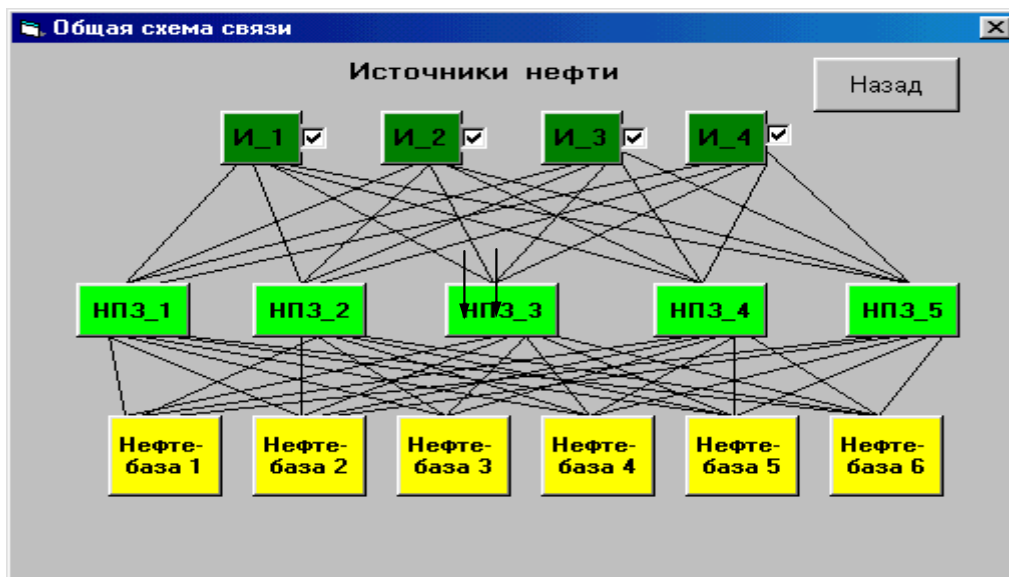


Рис. 5.3

Фирма, занимающаяся продажей нефтепродуктов, в первую очередь определяет потребность каждого сорта продуктов нефтепереработки для каждой нефтебазы на определенный период (скажем на месяц). Такая потребность обычно определяется статистическими методами, в частности, методами, рассмотренными в главе 3. Определение этой потребности здесь не рассматривается. Полагаем, что она определена для каждой нефтебазы по заданным периодам и при необходимости корректируются. Характеристики этих потребностей могут быть представлены в виде таблицы или диаграммы на экране дисплея. Вариант такой таблицы представлен на табл. 5.1. В ней обозначены объемы  $j$ -х продуктов переработки, потребных  $n$ -ой нефтебазе на соответствующий период. Таблица составляется специалистами фирмы и является исходной для компьютерной системы поддержки рационального плана переработки нефти.

Таблица 5.1

Наименование продукта нефтепереработки	№№ нефтебаз			
	1	2	...	N
А-95	1 500	-		-
А-92	9 000	1 200		-
А-76	10 000	8 500		9 400
ДТ	21 500	28 000		19 500
Мазут	-	31 000		18 000
Авиакеросин	-	-		-
Прочие нефтепродукты	-	-		-

Будем считать, что объемы нефти, подлежащие переработке, определены и необходимо составить план этих объемов на различных нефтеперерабатывающих заводах. Известно, что на каждом НПЗ есть свои технические условия переработки нефти. Они, в частности, характеризуются процентом выхода каждого сорта продукта нефтепереработки на данном НПЗ. Для удобства дальнейших расчетов введем понятие производственного комплекта (ПК) для каждого НПЗ. Если определить величину ПК (скажем 50 000 т.), то можно говорить не только о процентном содержании, но и количестве каждого сорта горючего в ПК каждого НПЗ. Примеры ПК показаны в табл. 5.2. Данные табл. 5.2 хранятся в базе данных как справочный материал. Они используются системой при расчетах. При необходимости они могут высвечиваться на дисплее.

Данные о каждом НПЗ, в том числе и данные табл. 5.2, вводятся в систему с помощью меню, показанном на рис. 5.4.

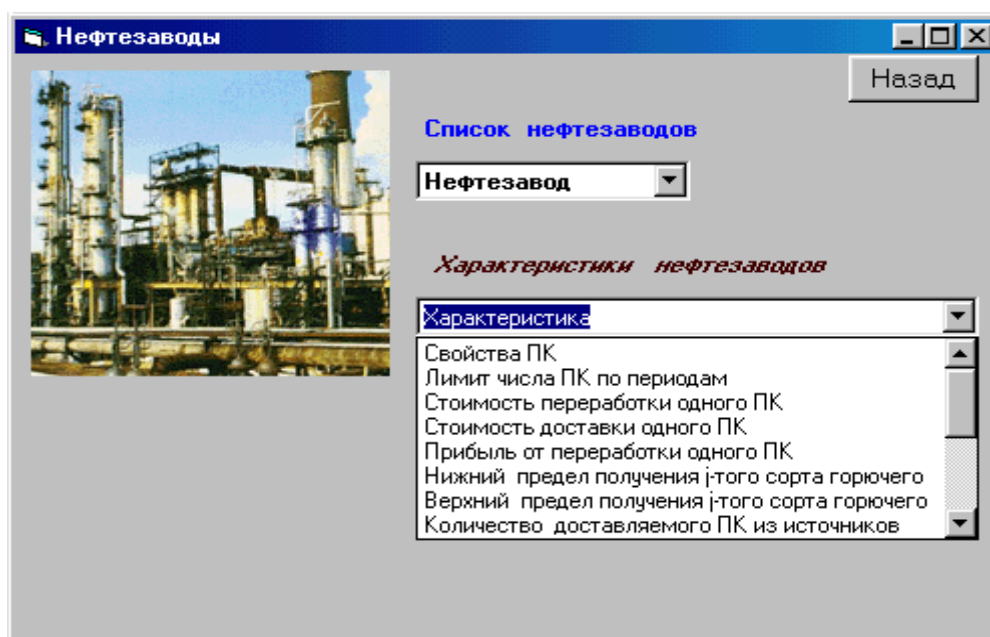


Рис. 5.4

При выработке плана загрузки НПЗ необходимо учитывать не только экономические факторы (рентабельность переработки, стоимость транспортировки и т.п.), но и другие факторы внешней неопределенности, например, качество переработки, точность поставок, налаженность деловых контактов и даже просто личные отношения руководителей разных уровней фирмы и НПЗ и т.п. Пример субъективных оценок этих пара-

метров показан в табл. 5.3. Под качеством (в табл. 5.3 обозначено символом  $A$ ) может пониматься: качество работы  $i$ -го НПЗ ( $A_i$ ), качество доставки нефти от  $k$ -го источника к  $i$ -му НПЗ ( $A_{ik}$ ), качество поставки горючего от  $i$ -го НПЗ к  $n$ -ой нефтебазе ( $A_{in}$ ). Аналогичные обозначения введены и для точности поставок ( $B_i, B_{ik}, B_{in}$ ).

Таблица 5.2

НПЗ - 1				НПЗ - 2			
Условное обозначение	Наименование сорта горючего	%	Количество т.	Условное обозначение	Наименование сорта горючего	%	Количество т.
$q_{11}$	А-95	2	1 000	$q_{21}$	А-95	1	500
$q_{12}$	А-92	8	4 000	$q_{22}$	А-92	9	4 500
$q_{13}$	А-76	10	5 000	$q_{23}$	А-76	10	5 000
$q_{14}$	ДТ	21	10 500	$q_{24}$	ДТ	2	11 000
$q_{15}$	Мазут	39	19 500	$q_{25}$	Мазут	40	20 00
$q_{16}$	Авиакеросин	7	3 500	$q_{26}$	Авиакеросин	6	3 00
$q_{17}$	Собственное топливо и потери	8	4 000	$q_{27}$	Собственное топливо и потери	7	3 500
$q_{18}$	Прочие нефтепродукты	5	2 500	$q_{28}$	Прочие нефтепродукты	5	2 500
Всего		100	50 000	Всего		100	50 000

Таблица 5.3

Критерии		Оценки				
		Отлично 5 баллов	Хорошо 4 балла	Удовлетвор. 3 балла	Плохо 2 балла	Оч. плохо 1 балл
Качество	$A$	Качество поставок превосходит все пункты договора	Качество поставок превосходит некоторые пункты договора	Поставки точно соответствуют договору	Поставки имеют некоторые (небольшие) отклонения от условий договора	Поставки имеют значительные отклонения от условий договора
Точность	$B$	Поставки выполняются точно в соответствии с договором	Поставки осуществляются на 1неделю раньше срока договора	Поставки осуществляются на 2 дня позже или более чем на 1неделю раньше срока договора	Поставки осуществляются на 1 неделю позже срока договора	Поставки, несмотря на предупреждения, осуществляются на 2 недели позже срока договора
Рентабельность	$R$	20 ед. <	20-16 ед.	15-16 ед.	10-5 ед.	> 5 ед.
	$U$	25 ед. <	25-17 ед.	16-9 ед.	8-3 ед.	> 3 ед.
	$S$	30 ед. <	30-21 ед.	20-16 ед.	15-11 ед.	> 10 ед.

где  $R$  – рентабельность переработки одного ПК нефти;

$U$  – рентабельность перекачки одного ПК нефти от источников нефти на НПЗ;  
 $S$  – рентабельность доставки одного ПК продуктов переработки нефти с НПЗ на нефтебазу.

Табл. 5.3 высвечивается системой на дисплее для того, чтобы руководитель или эксперт мог откорректировать и указать свои оценки каждого НПЗ и каждого маршрута. Указанные оценки запоминаются в системе, их корректировка производится по мере необходимости. Возможность корректировки табл. 5.3 показана на рис. 5.5 и 5.6. На рис. 5.5 показана возможность корректировки оценки переработки нефти, а на рис. 5.6 – ее доставки.

Кроме того, у руководителя есть и свои субъективные оценки важности каждого критерия.

Они также могут быть сведены в таблицу, вариант которой показан в табл. 5.4. Через  $K_R$ ,  $K_A$ ,  $K_B$  в табл. 5.4 обозначены «веса» критериев  $R$ ,  $A$  и  $B$ . Сами критерии могут иметь индексы, например  $A^R$ ,  $B^R$ ,  $A^U$ ,  $B^U$ ,  $A^S$ ,  $B^S$ , обозначающие в нашем случае оценку качества и точности при определении рентабельности, доставки на НПЗ и нефтебазу соответственно.

Оценка ситуации руководителем

Оценка нефтезаводов		Оценка источников нефти		
Критерии оценки		Важность критериев		
Качество переработки превосходит некоторые пункты договора		Изменить		
<input checked="" type="radio"/> Критерии оценки переработки		<input type="radio"/> Критерии оценки доставки		
Критерии / баллы	Отлично 5 баллов	Хорошо 4 балла	Удовлетворительно 3 балла	Плохо 2 балла
<b>Качество (A)</b>	Качество переработки превосходит все пункты договора	Качество переработки превосходит некоторые пункты договора	Качество переработки точно соответствует договору	Качество переработки имеет некоторые (небольшие) отклонения от условий договора
<b>Точность (B)</b>	Поставки выполняются точно в соответствии с договором	Поставки осуществляются на 1 неделю раньше срока договора	Поставки осуществляются на 2 дня позже или более чем на 1 неделю раньше срока договора	Поставки осуществляются 1 неделю позже срока договора
<b>Рентабельность переработки (R)</b>	20 ед. <	20 - 16 ед.	15 - 16 ед.	10 - 5 ед.
<b>Рентабельность доставки (S)</b>	20 ед. <	20 - 16 ед.	15 - 16 ед.	10 - 5 ед.

Вычислить

Назад



Рис. 5.5

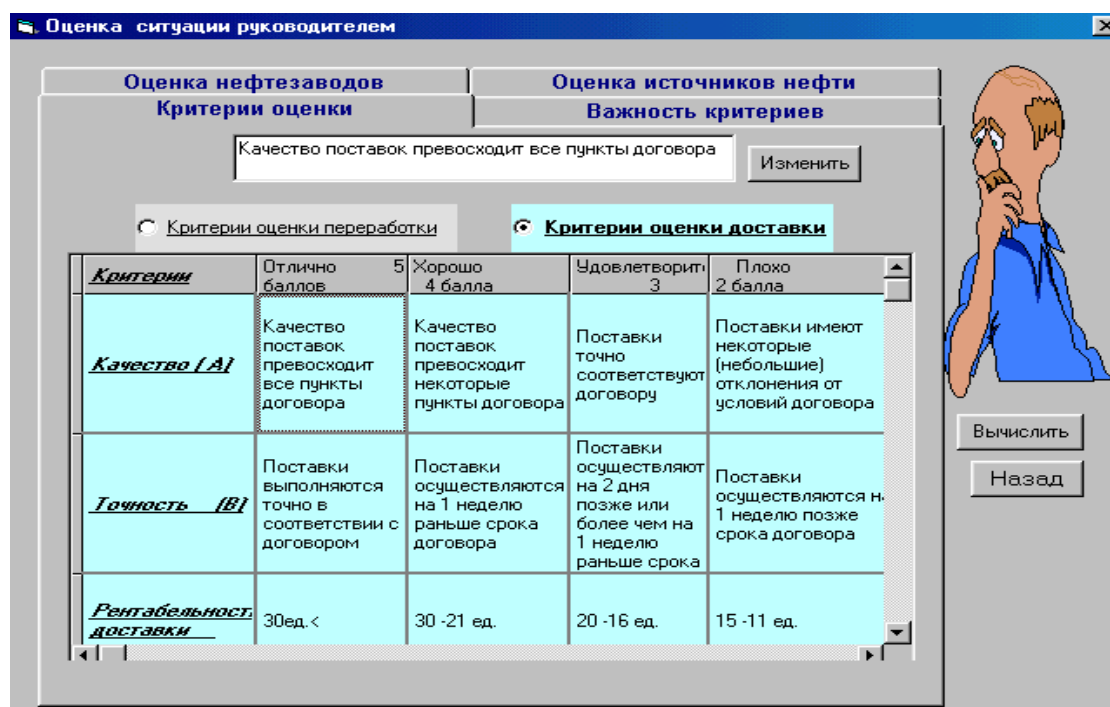


Рис. 5.6

В табл. 5.4 используется пятибалльная шкала оценок (в примере не использована оценка «не имеет значения»). Табл. 5.4 составляется по указанию руководителя или эксперта. В процессе принятия решений она высвечивается на дисплее, чтобы руководитель при необходимости мог ее скорректировать. Возможность корректировки табл. 5.4 показана на рис. 5.7. Таблица хранится в базе данных и используется во время оценки вариантов. В табл. 5.4 указан только один этап освоения рынка: начало завоевания выбранного сегмента рынка. В другие периоды освоения рынка и/или на других сегментах рынка позиция фирмы может быть другой. Например, она может находиться в стадии закрепления на сегменте рынка после его захвата. В этом случае коэффициенты  $K_R$ ,  $K_A$ ,  $K_B$  могут иметь другие значения, также как и оценки рентабельности в табл. 5.3.

Таблица 5.4

Этапы освоения рынка	Ситуация на рынке нефтепродуктов			
	Цены на нефть высокие, прогнозы благоприятные	Цены на нефть высокие, прогнозы неблагоприятные	...	Цены на нефть низкие, прогнозы неблагоприятные
Начало завоевания рынка	$K_R$ – мало значимо, $K_A$ – большое значение $K_B$ – очень большое значение	$K_R$ – значимо, $K_A$ – большое значение $K_B$ – очень большое значение		$K_R$ – большое значение, $K_A$ – большое значение $K_B$ – очень большое значение

На основании табл. 5.3 и 5.4 и информации, хранящейся в базе данных, составляются таблицы характеристик (оценок) НПЗ по различным критериям. Схема заполнения таблиц показана на рис. 5.8-5.10.

Ниже рассматривается три варианта решения задачи:

- планирование работы группы НПЗ, в которые нефть поступает из одного источника;
- планирование работы группы НПЗ, в которые нефть поступает из нескольких источников;
- планирование работы группы НПЗ при поступлении нефти из нескольких источников с учетом доставки продуктов нефтепереработки на нефтебазы.

**Оценка ситуации руководителем**

**Оценка нефтезаводов**  
Критерии оценки

**Оценка источников нефти**  
Важность критериев

**Ситуация на рынке нефтепродуктов**

**Этапы освоения рынка**

Критерии	Цены на нефть высокие, прогнозы благоприятные	Цены на нефть высокие, прогнозы неблагоприятные	Цены на нефть низкие, прогнозы благоприятные	Цены на нефть низкие, прогнозы неблагоприятные
<b>Критерий качества (A)</b>	большое значение	большое значение	...	большое значение
<b>Критерий точности (B)</b>	очень большое значение	очень большое значение	...	очень большое значение
<b>Критерий рентабельности (R)</b>	мало значимо	значимо	...	большое значение
<b>Критерий рентабельности (S)</b>	мало значимо	значимо	...	большое значение

**Начало завоевания рынка**

Выбор важности критериев:  
 Выбрать ситуацию  
 Важность критериев  
 очень большое значение  
 большое значение  
 значимо  
 мало значимо  
 очень мало значимо  
 незначимо

Вычислить  
Назад

Рис. 5.7

**Нефтезаводы**

Назад

**Список нефтезаводов**

НПЗ\_3

**Характеристики нефтезаводов**

Стоимость переработки одного ПК

НПЗ	Период 1	Период 2	Период 3	Период 4	Период 5	Период 6
НПЗ_1	20	21	23			
НПЗ_2	21	23	25			
НПЗ_3	19	20	22			
НПЗ_4	18	19	20			
НПЗ_5	22	23	24			
НПЗ_6	23	24	25			

Рис. 5.8



Оценка ситуации руководителем

Критерии оценки	Важность критериев
Оценка нефтезаводов	Оценка источников нефти

**Критерии переработки нефти**

Нефтезаводы

Баллы      Характеристика

Качество: Баллы      Характеристика

Точность: Баллы      Характеристика

Рентабельность: Баллы      Характеристика

Критерии /НПЗ	НПЗ_1	НПЗ_2	НПЗ_3	НПЗ_4	НПЗ_5
Качество (А)		отлично			
Точность (В)		плохо			
Рентабельность (R)		хорошо			

Вычислить

Назад

Рис. 5.9

Оценка ситуации руководителем

Критерии оценки	Важность критериев
Оценка нефтезаводов	Оценка источников нефти

**Критерии переработки нефти**

НПЗ\_3

Баллы      Характеристика

Качество: хорошо      Качество переработки превосходит некоторые пункт

Точность: отлично      Поставки выполняются точно в соответствии с дого

Рентабельность: удовлетв      15 -16 ед.

Критерии /НПЗ	НПЗ_1	НПЗ_2	НПЗ_3	НПЗ_4	НПЗ_5
Качество (А)		отлично	хорошо		
Точность (В)		плохо	отлично		
Рентабельность (R)		хорошо	удовлетвор		

Вычислить

Назад

Рис. 5.10

### ***В. Оперативное управление работой группы НПЗ, в которые нефть поступает из одного источника***

Компьютерная система поддержки принятия решений (СППР) по выбору варианта рационального плана переработки нефти, как многие компьютерные системы разных назначений, может генерировать большое число вариантов таких планов. Возможные алгоритмы генерации вариантов рассмотрены, например, в [5.2]. Множество вари-

антов может быть представлено в виде графа, каждая ветвь которого соответствует одному варианту. Пример такого графа показан на рис. 5.11. В нем цифра означает число ПК, перерабатывающих на этом НПЗ в период  $t$ . Число ПК на всех ветвях одно и то же, так как при всех вариантах перерабатывается одно и то же количество нефти.



Рис. 5.11

При генерации вариантов, помимо логического перебора вариантов, часть которых показана на рис. 5.11, должны выполняться ограничения (5.1). Заметим, что руководитель или диспетчер совсем не должен знать математическую формулировку ограничений (5.1). Все необходимые данные уже введены в таблицы или хранятся в базе данных.

$$(5.1) \quad \begin{cases} \sum_{i \in I_m} x_i(t) = Q(t) & m = 1, \bar{M} \\ x_i(t) = 1, 2, \dots, L_i(t) & (x_i(t) - \text{целочисленные}) \\ l_{ij} \leq \sum_{i \in I_m} q_{ij} x_i(t) \leq \bar{l}_{ij} & j \in J_i \end{cases}$$

где  $Q(t)$  – общее число ПК, которое должно быть переработано всеми НПЗ в период времени  $t$ , они определяются в соответствии с табл. 5.1 потребности нефтебаз.  $L_i(t)$  – лимит числа ПК, перерабатываемый каждым  $i$ -м НПЗ в различные периоды  $t$ .

Значения  $L_i(t)$  могут быть представлены в табл. 5.5. Эта таблица также носит справочный характер. Данные табл. 5.5 потребуются для дальнейших расчетов. При необходимости они могут быть представлены на дисплее и откорректированы специалистом.

$l_j(t), \bar{l}_j(t)$  – нижний и верхний пределы получения  $j$ -го сорта продуктов переработки нефти группой НПЗ, принадлежащих ветви (варианту плана),

$x_i(t)$  – количество ПК, перерабатываемых на  $i$ -м НПЗ в период  $t$ .

$I_m$  – множество индексов НПЗ, входящих в  $m$ -ый вариант плана (ветвь графа рис. 5.11).

Если система поддержки принятия решений представит большое число вариантов плана руководителю или эксперту, он будет не в состоянии оценить каждый вариант плана и выбрать лучший. Поэтому задача СППР – произвести оценку каждого варианта плана, учитывая при этом предпочтения руководителя или эксперта. В эти оценки должны войти как стандартные определения экономической рентабельности

каждого варианта, так и учет внешних и внутренних неопределенностей, которые могут возникнуть при реализации каждого варианта.

Таблица 5.5

Критерии		№№ НПЗ			
		1	2	...	6
Качество	$A_i$	Отл.	Хор.		Хор.
Точность	$B_i$	Удовл.	Отл.		Плохо

Будем считать, что метод оценки рентабельности (экономической эффективности) в фирме определен и вопросов у руководителя не вызывает. Для определенности будем оценивать прибыль заказчика от переработки нефти на каждом  $i$ -м НПЗ соотношением (5.2).

$$(5.2) \quad F_i(t) = [P_i(t) - (V_i(t) + D_i(t))]x_i(t).$$

Тогда прибыль от переработки нефти на  $m$ -м варианте наборов НПЗ и ПК ( $m$ -ой ветви графа рис.5.11):

$$(5.3) \quad F_m(t) = \sum_{i \in I_m} [P_i(t) - (V_i(t) + D_i(t))]x_i(t) \quad m = 1, \bar{M},$$

где  $P_i(t)$  – прибыль, получаемая заказчиком от переработки одного ПК на  $i$ -м НПЗ в период  $t$  (значения  $P_i(t)$  заносятся в СППР так, как показано на рис. 5.12),

$D_i(t)$  – стоимость переработки одного ПК на  $i$ -м НПЗ в период  $t$ ,

$V_i(t)$  – стоимость доставки одного ПК на  $i$ -й НПЗ в период  $t$ , считая, что маршрут от источника к  $i$ -му НПЗ фиксирован. Значения  $D_i(t)$  и  $V_i(t)$  заносятся в СППР так, как показано в меню рис. 5.4, аналогично рис. 5.12. Значения  $P_i(t)$ ,  $D_i(t)$  и  $V_i(t)$  для всех НПЗ хранятся в базе данных.

Нефтезаводы

Назад

Список нефтезаводов

НПЗ\_3

Характеристики нефтезаводов

Прибыль от переработки одного ПК

НПЗ	Период 1	Период 2	Период 3	Период 4	Период 5	Период 6
НПЗ_1	30	31	32			
НПЗ_2	31	32	38			
НПЗ_3	30	31	32			
НПЗ_4	29	30	31			
НПЗ_5	28	29	30			
НПЗ_6	32	33	34			

Рис 5.12

Рентабельность (доход) от переработки одного ПК на  $m$ -ой ветви:

$$(5.4) \quad \bar{F}_m(t) = \frac{F_m(t)}{Q(t)}$$

при ограничениях (5.1).

Заметим, что руководитель не должен вдаваться в подробности методики оценки  $F_i(t)$  и  $F_m(t)$ . Выбор такой методики и принятие ее в виде стандарта фирмы предмет отдельного рассмотрения на фирме, и упрощенные соотношения (5.2)-(5.4) взяты только для иллюстрации. Формулы (5.1)-(5.4) или заменяющие их аналоги в процессе выбора решения плана не должны высвечиваться на экране руководителя.

Выше уже отмечалось, что при выработке плана загрузки НПЗ необходимо учитывать не только рентабельность варианта, но и ряд других факторов, связанных с неопределенностью ситуации. В нашем примере это качество и точность поставок.

Эти два фактора также являются чисто иллюстративными. Могут оцениваться и другие факторы внешней неопределенности: состояние средств и маршрутов транспортировки нефти, экономическое состояние компании, которой принадлежит НПЗ, ее торговая политика и т.д. Подобные оценки даются на основе анализа, опыта и субъективных предпочтений руководителя.

Возвратимся к оценке наших факторов неопределенности. Качество переработки нефти на каждом НПЗ, рассматриваемом как возможный кандидат на переработку нефти, также как и точность поставок, оценивается руководителем по табл. 5.3 и вводится в таблицу типа табл. 5.5. Заполнение табл. 5.5 показано на рис. 5.9 и 5.10.

Заметим, что перерабатывающих заводов обычно бывает немного так в России меньше трех десятков НПЗ, учитывая территориальные и другие ограничения, число рассматриваемых НПЗ не может быть слишком большим.

Качество переработки нефти группой НПЗ в  $m$ -ом варианте плана ( $m$ -ой ветви) можно оценить по соотношению (5.5) (значения  $A_i$  берутся из табл. 5.5):

$$(5.5) \quad A_m^R = \frac{1}{Q(t)} \sum_{i \in I_m} \alpha_i(t) A_i .$$

Точность поставок продуктов нефтепереработки в  $m$ -ом варианте плана, оценивается по соотношению (5.6) (значения  $B_i$  берутся из табл. 5.5):

$$(5.6) \quad B_m^R = \frac{1}{Q(t)} \sum_{i \in I_m} \alpha_i(t) B_i ,$$

где  $\alpha_i(t)$  – количество ПК, перерабатываемых на  $i$ -ом НПЗ за период  $t$ , и рентабельность переработки нефтепереработки в  $m$ -ом варианте плана определяется с помощью строки  $R$  табл. 5.3, отображением:

$$(5.7) \quad \bar{F}_m \rightarrow R_m ,$$

т.е. если рентабельность выше 20 ед. на один ПК (см. табл. 5.3) – отлично, от 20 до 16 ед. – хорошо и т.д.

Соотношения (5.5)-(5.7) не высвечиваются на экране руководителя, они являются расчетными формулами СППР для оценок варианта и здесь приведены в качестве иллюстрации. Для выбора СППР лучших вариантов плана переработки нефти все рассмотренные выше оценки надо свести воедино и получить интегральную оценку.

Также как и рассмотренная выше методика оценки рентабельности, методика интегральной оценки клиентов (в данном случае НПЗ) является внутренним стандартом фирмы. Оценки (5.8) и (5.9) являются не более, чем упрощенной иллюстрацией этих, в некоторых случаях достаточно сложных алгоритмов, интегральной оценки вариантов загрузки НПЗ на период  $t$ .

$$(5.8) \quad W_m^R = K_R R_m + K_A A_m^R + K_B B_m^R \quad \text{или}$$

$$(5.9) \quad W_m^R = \frac{K_R R_m}{K_A A_m^R + K_B B_m^R} .$$

Смысл соотношения (5.9) в том, что чем ниже качество переработки нефти и аккуратность поставок, тем большие потери будет нести компания при продаже продуктов переработки нефти. В формуле (5.9) для коэффициентов  $K_A$ ,  $K_B$ ,  $A_m^R$  и  $B_m^R$  надо брать инверсную балльную оценку (отлично – 1, хорошо – 2 и т.д.).

Таким образом, задача сводится к нахождению:

$$(5.10) \quad W_m^R \rightarrow \max_m, \quad m = 1, \bar{M}.$$

Формулы (5.8)-(5.10) также как и формулы (5.1)-(5.4) не выводятся на дисплей руководителя, но важно, чтобы при выработке внутреннего стандарта фирмы, он знал, как учитываются его предпочтения. В некоторых случаях бывает важно, чтобы руководитель мог вводить свои оценки, не демонстрируя их сотрудникам, но так, чтобы СППР могла их учитывать.

Руководитель получает результат также в виде таблицы (см. табл. 5.6), на которой показан лучший вариант плана и его характеристики. СППР может представить руководителю или эксперту не один вариант плана переработки нефти, а несколько вариантов с лучшими значениями  $W_m^R$  и руководитель сам сделает окончательный выбор.

Таблица 5.6

$x_1(t)=2$
$x_2(t)=1$
$x_3(t)=2$
$W_2^R=24.3$

Таким образом, руководитель фирмы или эксперт, работая только с таблицами разделов 5.2.А и 5.2.В с помощью меню, показанных на рисунках этих же разделов, может определить загрузку НПЗ, на которых будет выполняться заказ фирмы.

### ***С. Оперативное управление работой группы НПЗ, в которые нефть поступает из нескольких источников***

Так как источников поступления нефти на НПЗ может быть несколько, то необходимо учитывать характеристики средств доставки и источников нефти. Эти характеристики определяются стоимостью доставки одного ПК на  $i$ -ый НПЗ из  $k$ -го источника, надежностью маршрута доставки, качеством доставки (сорта нефти могут быть смешаны в нефтепроводе) и рядом других важных для заказчика параметров.

Эти данные и, что очень важно, их критериальные оценки могут быть сведены в таблицу типа табл. 5.3, «веса» критериев могут быть взяты из табл. 5.4 или аналогичных таблиц.

С учетом ограничений (5.11), основанных на этих данных, компьютерная система поддержки принятия решений генерирует варианты наборов НПЗ, варианты количества ПК и маршруты их доставки от источников нефти. Множества вариантов могут быть представлены в виде графа. Пример такого графа показан на рис. 5.13 (треугольниками обозначены источники нефти). Однако граф рис. 5.13 лучше трансформировать в  $M$  подграфов, один из которых показан на рис. 5.14. Подграф рис. 5.14 связывает каждую ветвь рис. 5.11 с набором источников нефти. Каждый  $p$ -ый набор источников нефти совместно с  $m$ -ой ветвью наборов НПЗ и ПК, перерабатываемых на них, образуют новую ветвь  $mp$ . Такие ветви показаны на рис. 5.14, они нагляднее, чем рис. 5.13, что важно в тех случаях, когда руководитель хочет посмотреть отдельные варианты.

Также как и в предыдущем разделе, мы не будем рассматривать алгоритмы порождения графов рис. 5.13 и 5.14. Они известны [5.2]. Важно, что при формировании ветви  $mp$  должны соблюдаться ограничения (5.11):

$$(5.11) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in I_m} x_i(t) = Q(t), \quad m = \overline{1, M} \\ x_i(t) = 1, 2, \dots, L_i(t), \quad i \in I_m \\ L_j \leq \sum_{i \in I_m} q_{ij} x_i(t) \leq \bar{L}_j, \quad j \in J_i \\ \sum_{k \in K_{mp}} y_{ik}(t) = \sum_{i \in I_m} x_i(t), \quad mp = \overline{1, MP} \\ y_{ik}(t) = 1, 2, \dots, L_k(t), \quad k \in K_{mp} \end{array} \right. ,$$

где  $J_i$  – множество индексов продуктов переработки нефти на  $i$ -м НПЗ,  $K_{mp}$  – множество индексов источников нефти, входящих в ветвь  $mp$ . Значения  $L_k(t)$  – лимит числа ПК, получаемого от  $k$ -го источника нефти, могут быть представлены в таблице.

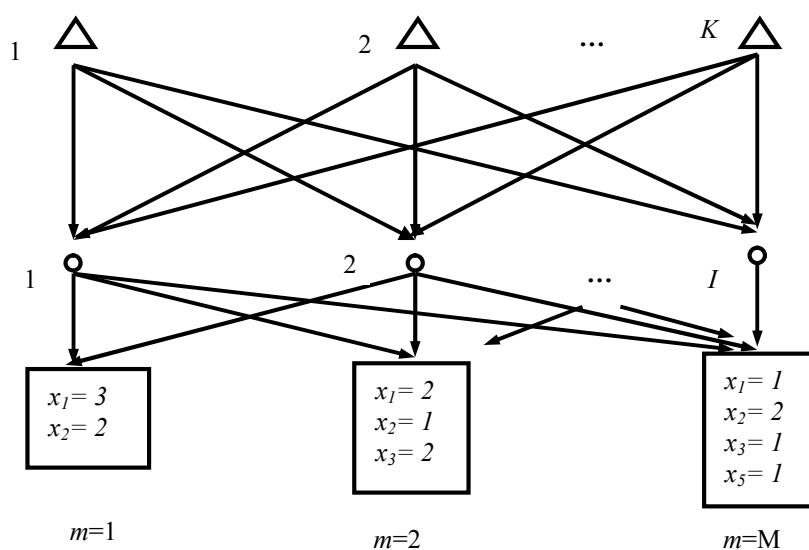


Рис. 5.13

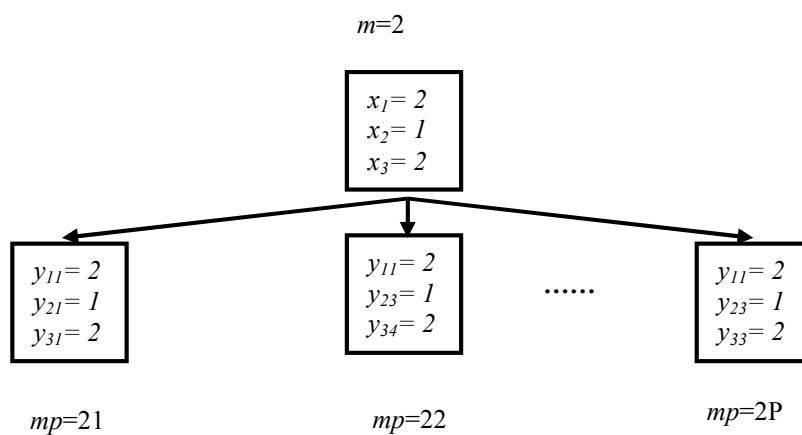


Рис. 5.14

$y_{ik}(t)$  – число ПК, доставляемых на  $i$ -ый НПЗ из  $k$ -го источника нефти.

Также как и в предыдущем разделе СППР должно ранжировать варианты, не демонстрируя их руководителю. Оценку каждого варианта плана (каждой ветви  $mp$  рис. 5.14) будем производить аналогично тому, как это делалось в предыдущем разделе и показано на рис. 5.4 - 5.12.

Доход от транспортировки нефти от  $k$ -го источника к  $i$ -му НПЗ могут определяться по соотношению:

$$(5.12) \quad E_{ik}(t) = (P_{ik}(t) - V_{ik}(t))y_{ik}(t),$$

где  $V_{ik}(t)$  – стоимость доставки одного ПК на  $i$ -ый НПЗ из  $k$ -го месторождения нефти в период времени  $(t)$ ,  $P_{ik}(t)$  – прибыль, получаемая заказчиком от переработки одного ПК на  $i$ -м НПЗ, получаемым из  $k$ -го месторождения нефти в период времени  $t$ . Значения  $V_{ik}(t)$  могут вводиться в СППР так, как это показано на рис. 5.15. Аналогично могут вводиться значения  $P_{ik}(t)$ .

Нефтезаводы / Источники	НПЗ_1	НПЗ_2	НПЗ_3	НПЗ_4	НПЗ_5
Источник_1		отлично			
Источник_2					
Источник_3					

Рис. 5.15

Рентабельность (доход)  $U_{mp}$  перекачки одного ПК нефти от  $k$ -ых источников к  $i$ -му НПЗ в варианте плана (ветви)  $mp$  определим из формулы (5.12) аналогично формулам (5.4) и (5.7) с последующим отображением  $\bar{E}_{mp}$  с помощью строки  $U$  табл. 5.3 в  $U_{mp}$ :

$$(5.13) \quad \bar{E}_{mp} = \frac{1}{Q(t)} \sum_{i \in I_{mp}} \sum_{k \in K_{mp}} E_{ik} \rightarrow U_{mp}$$

Качество доставляемой нефти каждого источника нефти, рассматриваемого как возможного кандидата на поставку нефти, также как и точность поставок, оценивается руководителем по табл. 5.3 и вводится в таблицу типа табл. 5.7. В табл. 5.7 предполагается, что от  $k$ -го источника к  $i$ -му НПЗ имеется только один маршрут (в большинстве случаев так оно и есть).

Качество нефти, доставленной от  $k$ -ых источников к  $i$ -ым НПЗ, в варианте плана (ветви)  $mp$  определим аналогично формуле (5.5):

$$(5.14) \quad A_{mp}^U = \frac{1}{Q(t)} \sum_{i \in I_{mp}} \sum_{k \in K_{mp}} \beta_{ik}(t) A_{ik}^U.$$

Точность (своевременность) доставки нефти на  $i$ -ые НПЗ от  $k$ -ых источников в варианте  $mp$  плана определим аналогично формуле (5.6):

$$(5.15) \quad B_{mp}^U = \frac{1}{Q(t)} \sum_{i \in I_{mp}} \sum_{k \in K_{mp}} \beta_{ik}(t) B_{ik}^U$$

где  $\beta_{ik}$  – количество ПК, пересылаемое на  $i$ -ый НПЗ из  $k$ -го источника нефти (узла учета), а  $A_{ik}^U$  и  $B_{ik}^U$  берутся из табл. 5.7.

Таблица 5.7

Критерии	№№НПЗ	№№ источника нефти			
		1	2	...	5
$A_{ik}^U$	1	Хор.	Удовл.		Хор.
	2	Отл.	Хор.		Хор.
	...				
	6	Удовл.	Плохо		Удовл.
$B_{ik}^U$	1	Отд.	Хор.		Отл.
	2	Отл.	Удовл.		Хор.
	...				
	6	Удовл.	Плохо		Хор.

Соотношения (5.13)-(5.15) не высвечиваются на экране руководителя, они являются расчетными формулами СППР для оценок варианта. Также как и в предыдущем разделе, методику интегральной оценки предпочтительности источников нефти и маршрутов ее доставки на НПЗ будем считать внутренним стандартом фирмы и в качестве упрощенного примера такой оценки приведем формулы (5.16)-(5.17), аналогичные формулам (5.8) и (5.9).

$$(5.16) \quad W_{mp}^U = K_U U_{mp} + K_A A_{mp}^U + K_B B_{mp}^U \quad \text{или}$$

$$(5.17) \quad W_{mp}^U = \frac{K_U U_{mp}}{K_A A_{mp}^U + K_B B_{mp}^U},$$

Значения  $K_U$ ,  $K_A$  и  $K_B$  даны в табл. 5.4 и могут быть откорректированы как показано на рис. 5.7. При использовании функции (5.17) также как и при использовании функции (5.9) нужно брать инверсную балльную оценку.

Из рис. 5.14 видно, что оценка каждой ветви  $mp$  может состоять из двух составляющих: оценки переработки нефти и оценки ее доставки (с учетом качества). Поэтому оценку каждого плана переработки нефти (ветви графа рис. 5.14) можно представить в следующем виде:

$$W_{mp}^{RU} = W_m^R + W_{mp}^U, \quad m = 1, \bar{M}, \quad mp = 1, \bar{MP}.$$

Задача, как и в функции (5.10), сводится к нахождению:

$$(5.18) \quad W_{mp}^{RU} \rightarrow \max, \quad m = 1, \bar{M}, \quad mp = 1, \bar{MP} \quad \text{при ограничениях (5.11).}$$

Результатом работы системы поддержки принятия решений является:

- выбор источников нефти (узлов учета) для каждого НПЗ, набора НПЗ, на которых должна перерабатываться нефть;
- количества ПК, перерабатываемых на каждом НПЗ;
- количества доставляемой нефти от источника нефти к НПЗ.

Для решения этой уже более сложной по сравнению с разделом 5.2.В задачи, система поддержки принятия решений представляет руководителю табл. типа 5.3-5.7, которые он корректирует или частично создает заново, по схемам, показанным на рис. 5.4 - 5.12, а также необходимые справочные данные по его требованию, результат также выдает в виде таблицы или схемы.



Пример решения показан в табл. 5.8. На 1-ый НПЗ подается 2 ПК из 1-го источника на 2-ой НПЗ – 1ПК из 2-го источника и на 3-ий НПЗ - 2 ПК из 5-го источника. Возможно представление других вариантов и дополнительной информации для окончательного выбора, который сделает руководитель.

Таблица 5.8

$x_1(t)=2$	$y_{11}(t)=2$
$x_2(t)=1$	$y_{22}(t)=1$
$x_3(t)=2$	$y_{35}(t)=2$
$W^{RU} = 32.6$	

#### ***D. Оперативное управление работой группы НПЗ при поступлении нефти из нескольких источников с учетом доставки продуктов нефтепереработки на нефтебазы***

Теперь задача заключается в том, чтобы соединить воедино источники поступления нефти, переработку на НПЗ и доставку продуктов переработки нефти на нефтебазы.

Введем понятие комплекта нефтебазы (КН) – единицу всех видов горючего получаемого нефтебазой, на каждой нефтебазе величина КН может быть своя и процентное содержание (объем) каждого сорта горючего тоже свое. Эта информация может быть представлена аналогично табл. 5.2. Задача этого раздела усложнилась за счет того, что теперь надо учитывать стоимость и другие факторы, влияющие на пересылку продуктов переработки нефти и на хранение их на нефтебазах. Через  $c_{jn}$  обозначим объем  $j$ -го сорта продуктов нефтепереработки в ПК нефтебазы, через  $C_n$  - число КН.

Это исходные данные, по которым осуществляются поставки продуктов нефтепереработки на нефтебазы. Через  $g_{in}(t)$  обозначим число КН, доставляемых из  $i$ -го НПЗ на  $n$ -ую нефтебазу в период  $(t)$ , через  $G_{in}(t)$  – стоимость доставки одного КН из  $i$ -го НПЗ на  $n$ -ую нефтебазу. Значения  $g_{in}(t)$  определяются для каждого  $i$ -го НПЗ по  $x_i$  и  $g_{ij}$  для каждой ветви  $mp$ .

Тогда СППР, генерируя варианты плана переработки нефти, должна учитывать ограничения (5.11) и (5.19).

$$(5.19) \quad \begin{cases} \sum_{j \in J_i} \sum_{i \in I_{mpf}} q_{ij} \geq \sum_{n \in N_{mpf}} \sum_{j \in J_n} c_{jn} \\ \sum_{i \in I_{mpf}} g_{in} = C_n, \quad \forall n \in N_{mpf} \end{cases}$$

где  $N_{mpf}$  – множество индексов нефтебаз, входящих в ветвь  $mpf$ , а  $I_{mpf}$  – множество индексов  $i$  НПЗ, входящих в ветвь  $mpf$ .

При генерации вариантов плана СППР должна учитывать:

- варианты наборов НПЗ,
- количество ПК, перерабатываемых на каждом из этих НПЗ,
- источники нефти и количество ПК, пересылаемое из каждого источника на каждый НПЗ,
- количество КН, пересылаемых из каждого НПЗ на каждую нефтебазу.

Множества вариантов плана могут быть представлены в виде графа, аналогичного графу рис. 5.13. Однако его лучше трансформировать в множество подграфов, один из которых показан на рис. 5.16. Подграф рис. 5.16 связывает каждую  $mp$ -ую ветвь со всеми допустимыми наборами КН всех нефтебаз, образуя новые ветви  $mpf$ . Подграфы рис. 5.16 не обязательно показывать руководителю.

Заметим, что рис. 5.16 включает в себя все нефтебазы, подлежащие снабжению, разница – в выборе НПЗ и количестве КН, пересылаемых на нефтебазы.

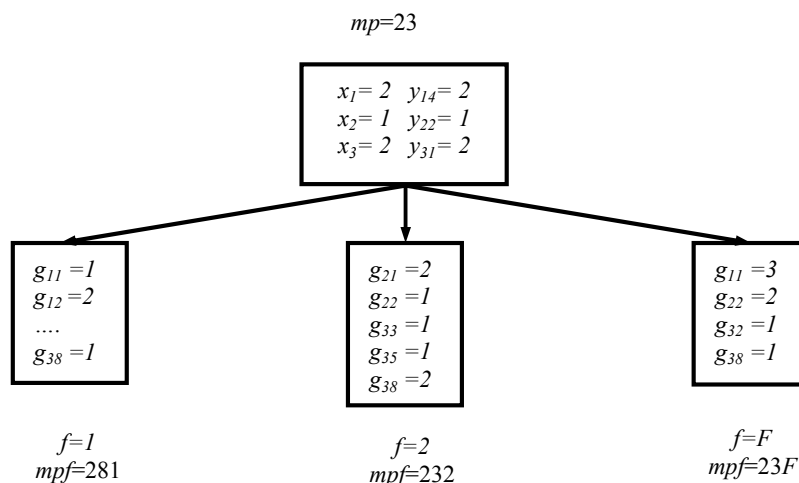


Рис. 5.16

Доход от доставки горючего на нефтебазу по комбинации, указанной в ветви  $mpf$  (варианту плана):

$$H_{in} = (P_{in} - G_{in})g_{in},$$

где  $P_{in}$  – прибыль от доставки одного КН от  $i$ -го НПЗ на  $n$ -ую нефтебазу.

Рентабельность (доход)  $S_{mpf}$  доставки и хранения одного КН нефти в варианте плана (ветви)  $mpf$  определим аналогично формуле (5.13) с последующим отображением  $\bar{H}_{mpf}$  с помощью строки  $S$  табл. 5.3 в  $S_{mpf}$ :

$$(5.20) \quad \bar{H}_{mpf} = \frac{1}{Q(t)} \sum_{i \in I_{mpf}} \sum_{n \in N_{mpf}} H_{in} \rightarrow S_{mpf}$$

Качество доставляемых нефтепродуктов от каждого НПЗ, также как и точность поставок оценивается руководителем по табл. 5.3 и вводится в таблицу типа табл. 5.9. Заметим, что она по структуре совершенно аналогична табл. 5.7. В табл. 5.9 предполагается, что от  $i$ -го НПЗ к  $n$ -ой нефтебазе имеется только один маршрут. Корректировка данных в табл. 5.9 и в базе данных может осуществляться по схемам, показанным на рисунках разделов 5.3 и 5.4.

Таблица 5.9

Критерии и номера нефтебаз		Номера НПЗ			
		1	2	...	6
$A^S_{ik}$	1	Удовл.	Отл.		Плохо
	2	Хор.	Удовл.		Хор.
	...				
	8	Хор.	Хор.		Удовл.
$B^S_{ik}$	1	Хор.	Отл.		Хор.
	2	Хор.	Удовл.		Хор.
	...				
	8	Удовл.	Отл.		Удовл.

Заметим, что  $g_{in}$  для разных  $n$  может быть разная, но т.к. каждая ветвь содержит все нефтебазы, то сумма  $g_{in}$  по всем вариантам плана (ветвям подграфа рис. 5.15) будет одна и та же, то есть объем горючего, доставляемый на все нефтебазы, не зависит от набора НПЗ – поставщиков.

Качество нефтепродуктов, доставленных от  $i$ -х НПЗ к  $n$ -м нефтебазам в варианте плана (ветви)  $mpf$  определим аналогично (5.14):

$$(5.21) \quad A_{mpf}^S = \frac{1}{C_n(t)} \sum_{i \in I_{mpf}} \sum_{n \in N_{mpf}} g_{in} A_{in}^S,$$

Точность (своевременность) доставки нефтепродуктов на  $n$ -ую нефтебазу от  $i$ -го НПЗ определим аналогично формуле (5.15):

$$(5.22) \quad B_{mpf}^S = \frac{1}{C_n(t)} \sum_{i \in I_{mpf}} \sum_{n \in N_{mpf}} g_{in} B_{in}^S,$$

где  $A_{in}^S$  и  $B_{in}^S$  берутся из табл. 5.9.

Соотношения (5.20)-(5.22) не высвечиваются на экране руководителя, они являются расчетными формулами СППР для оценок варианта плана. Также как и в предыдущих разделах, методику интегральной оценки предпочтительности НПЗ и маршрутов доставки нефтепродуктов будем считать внутренним стандартом фирмы и в качестве упрощенных примеров такой оценки приведем формулы (5.23) и (5.24), аналогичные формулам (5.16) и (5.17).

$$(5.23) \quad W_{mpf}^S = K_S A_{mpf}^S + K_A A_{mpf}^S + K_B B_{mpf}^S \quad \text{или}$$

$$(5.24) \quad W_{mpf}^S = \frac{K_S S_{mpf}}{K_A A_{mpf}^S + K_B B_{mpf}^S}.$$

Значения  $K_S$ ,  $K_A$  и  $K_B$  даны в табл. 5.4, при использовании функции (5.24) нужно брать инверсную балльную оценку.

Из рис. 5.16 видно, что оценка каждой ветви  $mpf$  может состоять из трех составляющих: оценки доставки нефти на НПЗ, оценки ее переработки и оценки доставки нефтепродуктов на нефтебазу. Поэтому оценку каждого плана переработки и доставки нефти (ветви графа рис. 5.16) можно представить в следующем виде:

$$(5.25) \quad W_{mpf}^{RUS} = W_m^R + W_{mp}^U + W_{mpf}^S, \quad m = 1, \overline{M}, \quad mp = 1, \overline{MP}, \quad mpf = 1, \overline{MPF}$$

Задача, как и раньше, сводится к нахождению

$$(5.26) \quad W_{mpf}^{RUS} \rightarrow \max_{m, p, f}$$

при ограничениях (5.11) и (5.19).

Функции (5.25) и (5.26) руководителю на дисплее не представляются. Пример решения показан в табл. 5.10. Поскольку ПК НПЗ отличается от КН, объем нефтепродуктов, полученных в ПК НПЗ, не соответствует объему в КН.

Таблица 5.10

$x_1(t)=2$	$y_{14}(t)=2$	$g_{11}(t)=3$	$g_{24}(t)=2$	$g_{37}(t)=3$	$W=67.5$
$x_2(t)=1$	$y_{22}(t)=1$	$g_{12}(t)=1$	$g_{25}(t)=1$	$g_{38}(t)=1$	
$x_3(t)=2$	$y_{33}(t)=2$	$g_{13}(t)=2$	$g_{36}(t)=2$		

Как и раньше, возможно представление нескольких вариантов плана с дополнительной информацией (если это необходимо) для окончательного выбора, который делает руководитель.

Для решения задачи раздела 5.2.D система поддержки принятия решений, как и в других разделах, представляет руководителю последовательность таблиц, которые он

корректирует или заполняет, а также необходимые справочные данные по его требованию. Результаты также выдаются в виде таблицы или схемы.

### 5.3 Субъективность в оперативном управлении поставками в системах промышленной логистики

Современные условия функционирования промышленного предприятия на рынке производителей в значительной степени определяется требованиями потребителей, предложениями и возможностями поставщиков, а также деятельностью предприятий-конкурентов. Поэтому в круг вопросов управления предприятий теперь входит:

- собственно промышленное предприятие;
- поставщики сырья, материалов и комплектующих изделий (число поставщиков может достигать несколько десятков и даже сотен);
- потребители готовой продукции (и их отношения с предприятиями – конкурентами);
- транспортное и складское хозяйство.

Исследование комплекса этих проблем, а также увеличение материальных и энергетических потоков, усложнение методов их транспортировки и складирования вызвало к жизни новое научное направление – логистики (Logistics), изучающее эти вопросы [5.3 – 5.5].

Ниже кратко рассматриваются два из перечисленных вопросов промышленных логистики: создание рыночных сред поставщиков материалов (комплектующих) и потребителей готовой продукции. Пусть целью фирмы являются эти две задачи.

При такой формулировке цель выражена в самом общем виде. Для того, чтобы ее конкретизировать нужно как всегда определить критерии, по которым будет оцениваться степень достижения цели и ввести некоторую систему ценностей, с помощью которой можно оценить объект или действие по данному критерию. Пример набора таких критериев для поставщиков и их оценки дан в табл. 5.11 [5.4, 5.5].

Заметим, что для того чтобы ей можно было пользоваться как табл. 4.2, необходимо проставить еще "веса" критериев, например,  $K_Q = 6$ ,  $K_P = 8$ ,  $K_T = 4$ ,  $K_R = 7$ ,  $K_C = 3$  ( $K_Q$  - "вес" критерия качества,  $K_P$  - "вес" критерия цены и т.д.). Аналогичную таблицу можно составить и для характеристики потребителей. Для полноты картины рынка надо учитывать показатели, характеризующие предприятия, выпускающие аналогичную продукцию, т.е. конкурентов и показатели, характеризующие изменения рыночной среды, оценить риски, связанные с выпуском предполагаемой продукции.

В табл. 5.11 не перечислены и не оценены факторы риска. К рискам на фазе технико-экономических обоснований можно отнести: риск недостаточной обоснованности сроков, риск недооценки требуемых затрат, риск неправильного прогноза изменений внешней среды, риск недооценки конкурентной среды, риск недостаточных исследований потребностей рынка и т.д.

Для оценки поставщиков целесообразно составить таблицу, включающую список поставщиков, номенклатуру возможных поставок и оценку по критериям, аналогичным критериям табл. 5.11 для каждого вида поставок. Система поддержки принятия решений генерирует возможные варианты контрактов с поставщиками по каждому наименованию номенклатуры поставок и оценивает каждый из вариантов.

Для генерации решений СППР представляет руководителю или эксперту таблицу типа табл. 5.12, в которой указываются материалы и комплектующие изделия, необходимые для реализации проекта и их возможные фирмы-поставщики. В табл. 5.12 знаком  $x$  обозначена возможность поставки фирмой данного материала или комплектую-

шего изделия, а знаком - невозможность поставки. Аналогичные таблицы обычно хранятся в базах данных.

Таблица 5.11

Критерий	5 баллов очень хорошо	4 балла хорошо	3 балла средне	2 балла удовлетво- рительно	1 балл плохо	
Качество <i>Q</i>	Высшее каче- ство	Превосходит минимальные требования стандартов	Соответству- ет минималь- ным требова- ниям стан- дартов	В некоторых случаях не соответствует минималь- ным требова- ниям стан- дарта	В редких случаях соот- ветствует ми- нимальным требованиям стандарта	
Цена <i>P</i>	Ниже сред- ней цены бо- лее чем на 5%	Ниже сред- ней цены не более чем на 5%	Соответству- ет средней цене	Выше сред- ней цены не более чем на 5%	Выше сред- ней цены бо- лее чем на 5%	
Время поставки <i>T</i>	Меньше среднего времени по- ставки более чем на 10%	Меньше среднего времени по- ставки не бо- лее чем на 10%	Соответству- ет среднему времени по- ставки	Превышает среднее вре- мя поставки не более чем на 10%	Превышает среднее вре- мя поставки более чем на 10%	
Надежность <i>R</i>	Качество <i>R<sub>Q</sub></i>	Качество по- ставок пре- восходят все пункты дого- вора	Качество по- ставок пре- восходят не- которые пункты дого- вора	Поставки точно соот- ветствуют договору	Поставки имеют неко- торые (не- большие) от- клонения от условий до- говора	Поставки имеют значи- тельные от- клонения от условий до- говора
	Точность поставок <i>R<sub>S</sub></i>	Поставки вы- полняются точно в соот- ветствии с договором	Поставки осу- ществляю- тся на 1 не- делю раньше срока догово- ра	Поставки осу- ществляю- тся на 2 дня непозже или более чем на 1 неделю раньше срока договора	Поставки осу- ществляю- тся на 1 не- делю позже срока догово- ра	Поставки, несмотря на предупреж- дения, осу- ществляются более чем на 2 недели позже срока договора
	Количество <i>R<sub>A</sub></i>	Поставляемое количество точно соот- ветствует до- говору	Поставляемое количество может пре- вышать дого- ворное не более чем на 5%	Поставляемое количество может пре- вышать более чем на 5% договорное или быть меньше	Поставляемое количество может быть меньше дого- ворного на 10%	Поставляемое количество может быть меньше дого- ворного бо- лее чем на 10%
Условие пла- тежа <i>C</i>	Все возмож- ные	По факту по- ставки про- дукции с пре- доставлением кредита	По факту по- ставки про- дукции	50% предоплата	100% предоплата	

СППР генерирует возможные варианты поставок методами, описанными в главах 3 и 4, или какими-нибудь другими, и производит оценку сгенерированных вариантов. Заметим, что генерируются варианты поставок каждого наименования материалов (комплектующих) каждым поставщиком, т.е. если знак х в клетке табл. 5.12 обозначить  $\alpha_i^j$ , то генерируются множества строк типа  $\alpha_1^2, \alpha_3^4, \dots, \alpha_i^j, \dots, \alpha_{m-1}^n$ .

Таблица 5.12

Фирмы поставщиков	Материалы и комплект			
	Металлический лист (прокат)	Бронированный кабель	.....	Электрические двигатели
Металл - Т	х	х	.....	-
Стройматериалы	х	х	.....	х
Электромашины	-	х	.....	х
.....	.....	.....	.....	.....
Энергокабель	-	х	.....	х

Оценка вариантов может производиться с помощью различных функций в зависимости от оценки каждого параметра руководителем. Например, если руководителю безразличны условия платежа, то он не будет их учитывать. Качество продукции и время поставок он может соотносить с ценой, т.е. оценивать их величиной  $Q/P$  и  $T/P$ . Баллы, полученные таким образом "взвесить" с помощью значений соответствующих критериев  $K_Q$  и  $K_T$  и сложить. Полученную сумму умножить на "взвешенный" посредством критерия балл надежности  $K_R R$ . Тогда оценочная функция будет иметь вид:

$$E = [K_Q(Q/P) + K_T(T/P)] \times K_R R.$$

Если каждого поставщика оценить по шкале оценок табл. 5.11, например, так, как это сделано в табл. 5.13, то СППР может оценить каждый сгенерированный вариант использования поставщиков, ранжировать их и предложить лучший. В табл. 5.13 балльная оценка  $P$  дается в двух вариантах: прямом и обратном. Последний вариант используется в тех случаях, когда производится оценка типа "качество/стоимость".

Таблица 5.13

№	Наименование поставщика	Оценка качества $Q$	Оценка цены	Оценка времени поставки $T$	Оценка надежности $R$
1	Металл - Т	очень хорошо 5	средняя 3 (1/3)	хорошо 4	удовлетворит. 2
2	Стройматериалы	хорошо 4	хорошо 4 (1/4)	удовлетворит. 2	средняя 3
...	....	...	...	...	...

Так оценка фирм «Металл-Т» и «Стройматериалы» в соответствии с табл. 5.13 и «весами» критериев, приведенными выше, будет для фирмы Металл-Т:

$$E_1 = [6 (5: 1/3) + 4 (4: 1/3)] \times 7 \cdot 2 = 1932 \text{ баллов,}$$

а для фирмы «Стройматериалы»:

$$E_2 = [6 (4: 1/4) + 4 (2: 1/4)] \times 7 \cdot 3 = 2688 \text{ баллов.}$$

Фирмы «Стройматериалы» и «Металл-Т», в соответствии с табл. 5.12, являются конкурентами по поставкам металлического листа и бронированного кабеля. По оценкам табл. 5.13 фирма «Стройматериалы» выглядит предпочтительней.

Для оценки варианта среды поставщиков, сгенерированных СППР в виде кортежа  $\alpha_i^j, \alpha_k^l, \dots, \alpha_m^n$ , каждой  $\alpha_s^g$  будет соответствовать оценка поставщика  $E_s$ , как это

сделано выше или  $E_s^P$ , если поставщик оценивается по каждому виду поставляемых материалов и комплектующих. В этом случае для каждого вида материалов и комплектующих в базе данных должна храниться таблица типа табл. 5.13.

В СППР могут быть записаны различные функции и условия оценки, которые она может предложить руководителю. При этом важно, чтобы СППР могла предложить только описания условий или только функции или и то и другое, в зависимости от того, что удобно руководителю, оценивающему поставщиков. Здесь, как и выше, будем считать, что в фирме есть некоторый стандартный для нее алгоритм оценки, которым пользуется руководитель.

Например, оценка производится по сумме показателей, взвешенных "весами" критериев и отнесенных к цене, тогда функция  $E$  примет вид:

$$E = (K_Q Q + K_T T + K_R R) / K_P P$$

Это некоторый аналог оценки типа "производительность/стоимость". Возможны другие оценки.

После того, как СППР проранжировала варианты и предложила руководителю лучшие, и он выбрал несколько лучших, с его точки зрения, поставщиков в соответствии с качеством товаров и услуг, которые они предоставляют, руководитель может говорить о создании среды поставщиков, обладающей определенными характеристиками.

Аналогично могут быть оценены потребители, на которых хочет ориентироваться производитель, и снова происходит формулировка или уточнение целей, которые, удовлетворяя требования потребителей, формирует их среду. При этом, рассматривая среду потребителей, руководитель должен оценить противодействие, которое ему окажут конкуренты.

Оценивая конкурентов, руководитель должен понять, сумеет ли он найти нишу, которую еще не заняли конкуренты и точно оценить характеристики товаров, которые могут заполнить эту нишу или он сумеет завоевать часть рынка, занятого конкурентами за счет более низких цен, более высокого качества или каких-нибудь новых свойств товаров.

Надо отметить, что оценка конкурентов является более сложной задачей, чем, например, выбор поставщиков или оценка потребителей. Сложность задачи заключается в том, что недостаточно оценить их текущее состояние. Надо уметь предвидеть и оценить их возможные действия в динамике конкурентной борьбы. Обычно это осуществляется с помощью компьютерных игр, используемых во многих информационных технологиях [5.2]. Однако компьютерные игры выходят за пределы данной работы.

Наконец, он должен оценить показатели изменения рыночной среды, т.е. характер, величину рисков и возможные меры по минимизации рисков. А это будет еще одно уточнение в формулировке требований к проекту.

Заметим, что, формируя требования к среде и выбирая варианты, руководитель с помощью СППР использует ту же методологию, которая была рассмотрена в главе 4. То есть он проводит анализ, формулирует критерии, генерирует варианты выбора возможных поставщиков, потребителей, методов борьбы с конкурентами, производит их оценку и выбирает лучшее решение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Цель создания компьютерных методов поддержки принятия решений – создать мощный инструмент генерации вариантов решений, их оценки и выбора лучшего решения.

2. Неопределенность, возникающая при оценке ситуации и выборе средств достижения цели, принуждает руководителя или эксперта использовать субъективные оценки анализа ситуации и вариантов решений, основанные на его знаниях, опыте и интересах, поэтому компьютерная система поддержки принятия решений должна «настраиваться» на их субъективные оценки и предпочтения.

3. Ключом успешного компьютерного анализа ситуации является глубокое понимание как объектной области (например, бизнеса), так и технологии обработки информации. Выбор метода анализа, сделанный экспертом или руководителем на основе его субъективного понимания характера задачи исследования и хорошего знания сильных и слабых сторон метода является одним из важнейших условий получения результата, соответствующего его критериям и оценкам ситуации.

4. Правильность выбора анализируемой информации играет решающую роль в оценке ситуации. Главным может оказаться не объем выборки, а правильность ее составления, и здесь решающую роль играет опыт и квалификация эксперта.

5. Компьютерная поддержка принятия решений дает возможность руководителю легко обрабатывать большие объемы информации в реальном масштабе времени, позволяя ему наряду с объективными оценками и точными математическими методами, использовать свои субъективные, присущие только ему, методы анализа, генерации и оценки возможных вариантов принимаемых решений, используя всю мощь программного обеспечения для реализации своего стиля управления.



## ЛИТЕРАТУРА

- 1.1 Turban E. Decision support and expert systems // Maxwell Macmillan. New York. 1990. P. 50.
- 1.2 Ларичев О.И. Некоторые проблемы искусственного интеллекта // Сборник трудов ВНИИСИ №10, 1990 с.1-9.
- 1.3 de Groot M.H. Optimal statistical decisions // Mc Craw-Hill. 1970. Chapter 6.
- 1.4 Моисеев Н.Н. Предисловие к книге Орловского С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации // М.: Наука. 1981.
- 1.5 Кононов А.А., Косяченко С.А., Кульба В.В. Модели и методы анализа сценариев развития социальноэкономических систем в АСУ // АиТ. 1999. №9.
- 1.6 Трахтенгерц Э.А. Неопределенность в математических моделях компьютерной оценке решений // М. ИПУ. 1998.
- 1.7 Левин В.И. Интервальная математика и изучение неопределенных систем // Информационные технологии. №6, 1998, с.27-33.
- 1.8 Gottinger H.W. Intelligent decision support systems // Decision support systems. 1992, №8, p.317-332.
- 1.9 Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения // М.: Наука. 1987.
- 1.10 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М.: СИНТЕГ. 1998г.
- 1.11 Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложением к социальным, биологическим и экономическим задачам // М.: Наука. 1986.
- 1.12 Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы // М.: Финансы и статистика. 1993.
- 1.13 Reeves C.R. Modern heuristic techniques for combinatorial problems // Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1993.
- 1.14 Стецюра Г.Г. Эволюционные методы в задачах управления, выбора и оптимизации // Приборы и системы управления. 1998, №3, с.54-62.
- 1.15 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений в САПР. Оценка согласования и выбор решения // Автоматизация проектирования. 1998, №1, с. 16-26.
- 1.16 Гливенко Е.В, Степин Ю.П., Трахтенгерц Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия решений в нефтегазовом производстве // М.: РГУНиГ. 1999.
- 1.17 Зверев Г.Н., Дембицкий С.А. Оценка эффективности геофизических исследований скважин. М. Недра. 1982.
- 1.18 Chen S.-J., Hwang C.-L. Fuzzy multiple attribute decision making. Springer Verlag. Berlin. 1992.
- 1.19 Прикладные нечеткие системы под ред. Тэрано Т., Асаи К., Сэгуно М. перевод с японского // М.: Мир. 1993.
- 1.20 Van Noortwijk J., Кох М., 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. 1977.
- 1.21 Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. М.: Наука 1997.
- 1.22 Форрестер Дж. Мирская динамика // М.: Наука. 1978.
- 1.23 Degroot M.H. Optimal statistical decisions // New York. McGraw-Hill. 1970.
- 1.24 de Finetti B. Theory of probability Wiley. Vols 1, 2. 1974/75.
- 1.25 Savage L.J. The foundation of statistics. Wiley. 1954.

- 1.26 French S. The role of sensitizing analysis in decision analysis. In Executive Information Systems and Decision Making. Chapman Hall, London, 1991.
- 1.27 Walson S.R., Buede D. Decision Synthesis: the Principles and Practice of Decision Analysis Cambridge University Press, Cambridge, 1987.
- 1.28 French S., Smith J.Q. Bayesian analysis. В кн. The practice of Bayesian analysis. S. French, J.Q. Smith ed. London, Arnold, 1997.
- 1.29 O'Hagan A. The ABLE story: Bayesian asset management in the water industry. В кн. The practice of Bayesian analysis. S. French, J.Q. Smith ed. London, Arnold, 1997. P. 173-198.
- 1.30 Queen C.M. Model elicitation in competitive markets. В кн. The practice of Bayesian analysis. S. French, J.Q. Smith ed. London, Arnold, 1997. P. 229-243.
- 1.31 Zadeh L.A. Fuzzy sets // Inf. and Control. 1965. N 8. P. 338-353.
- 1.32 Кузьмин В.Б. Травкин С.И. Теория нечетких множеств в задачах управления и принципах устройства нечетких процессоров // АиТ, № 11, 1992, с. 7-36.
- 1.33 Munakata T., Jani Y. Fuzzy systems: an overview // Comm. of the ACM. V. 37. 1994. №3, P. 69-76.
- 1.34 Танака К. Итоги рассмотрения факторов неопределенности и неясности в инженерном искусстве // В кн.: Нечеткие множества и теория возможностей под ред. Ягера Р.Я. // М.: Радио и связь. 1986, с. 37-50.
- 1.35 Zadeh L.A. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Communications of the ACM. V. 37. 1994. №3. P.77-84.
- 1.36 Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтение и замещения // М.: Радио и связь. 1984.
- 1.37 Borzenko V.I. Approximation approach multicriteria problems // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer Verlag, 1989, Vol. 337.
- 1.38 Бурков В.Н., Новиков В.А. Ведение в теорию активных систем // М. ИПУ. 1996г.
- 1.39 Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. // М.: Радио и связь. 1993.
- 1.40 Хеллавец Э., Литмен Д. 33.6 и быстрее // Мир ПК. 1997. №9. с.18-31.
- 1.41 Кук Р. О новой ОС для настольного компьютера // Мир ПК. 1997. №9. С. 132-136.
- 1.42 Харари Ф. Теория графов // М.: Мир. 1973г.
- 1.43 Марковский А.В. Анализ структуры знаковых ориентированных графов // Известия академии наук. Теория и системы управления. 1997. №5. С. 144-149.
- 1.44 Бурков В.Н. Опыт реформирования промышленных предприятий в России // М.: Современные технологии в управлении. Фонд «Проблемы управления». 1998. С. 16-26.
- 1.45 Анохин А.М., Глотов В.А., Павельев В.В., Черкашин А.М. Методы определения коэффициентов важности критериев // АиТ, №8, 199, с.3-35.
- 1.46 Айзерман М.А., Вольский В.И., Литваков В.М. Элементы теории выбора. Псевдокритерии и псевдокритериальный выбор // М. 1994.
- 1.47 Ириков В.А., Тренев В.Н. Распределенные системы принятия решений // М.: Наука. 1999.
- 1.48 Компьютер Пресс. №10, 1998, с.11.
- 1.49 Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Рейнжиниринг бизнеса // М.: Финансы и статистика, 1997.

- 2.1 Ириков В.И., Тренев В.Н. Распределенные системы принятия решений // М.: Наука. 1999.
- 2.2 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М.: СИНТЕГ, 1998.
- 2.3 Захаров В.Н. Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения // Теория и системы управления. 1997, №3, с. 138-145.
- 2.4 Serhrouchni A.E.F. Multi-agent systems as a paradigm for intelligent system design // Informatica. 1997. V. 21. №2. P. 173-184.
- 2.5 Ириков В.А. Распределенные человеко-машинные системы формирования решений при планировании и управлении // Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления: Труды конференции. М. ВНИИСИ, 1985.
- 2.6 Slovic P., Fischhoff B., Lichtenstein S. Behavioral decisions theory // Annu. Psychol. Rev. vol. 28, 1997.
- 2.7 Eom S.B. Decision support systems research: reference disciplines and a cumulative tradition// The International Journal of Management Science, 23, 5 October 1995, p.511-523.
- 2.8 Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений // М.: Наука. Физматлит. 1996.
- 2.9 Simon H.A. The new science of management decision // Englewood Cliffs, N.Y., Prentice - Hall Inc., 1975.
- 2.10 Simonovic A., Slobodan P. Decision support for sustainable water resources development in water resources planning in a changing world // Proceeding of International UNESCO symposium, Karlsruhe, Germany, III. 1994. P. 3-13.
- 2.11 Архипенков С. Oracle Express OLAP // <http://www.softtexpress.ru/Products/Oracle/books/OLAPBOOK/maintenance.htm>
- 2.12 Green S., Hurst L., Nangle B., Gunningham P., Somers F., Evans R. Software agents: a review. 27 may 1997 //<http://www.cs.tcd.ie/research/groups/aig/iag/pubreview>
- 2.13 Трахтенгерц Э.А. Взаимодействие агентов в многоагентных системах // АИТ, 1998, №9, с. 3-52.
- 2.14 Захаров В.Н. Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения // Теория и системы управления. 1997. №3. С. 138-145.
- 2.15 Городецкий В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы // Новости искусственного интеллекта. 1996. №1. С. 1–8.
- 2.16 Bradshaw J.M., Duffield S., Benoit P., Woolley J.D. KAoS: Toward an industrial - strength generic agent architecture. In Software Agents. Cambridge MA: AAAI/MIT Press, 1996.
- 2.17 Wooldridge M., Jennings N.K. Agent theories, architecture and languages: a survey // Lecture Notes in Artificial Intelligence. V.890, Springer Verlag, Berlin. P. 1-39.
- 2.18 Brazier F., Dunin-Keplitz B., Treur J., Verbrugge R. Beliefs, Intentions and Desire //<http://ksi/cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/brazier/default.htm>.
- 2.19 Трахтенгерц Э.А. Агентно-ориентированные информационные технологии управления проектами // М. ИПУ. 1999.
- 2.20 Шапот М. Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений // Открытые системы. 1998, №1, с. 30-35.
- 2.21 Reeves C.R. Modern heuristic techniques for combinatorial problems // Blackwell Scientific Publication. Oxford. 1993.
- 2.22 Горбань А.Н. Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере // Новороссийск. Наука. 1996.
- 2.23 Chen S.-J., Hwang C.-L. Fuzzy multiple attribute decision making // Springer Verlag. Berlin, 1992.

2.24 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами // М. СИНТЕГ - ГЕО. 1997.

3.1 Parsaye K. A Characterization of data mining technologies and process// Journal of Data Warehousing. 1998. №1.

3.2 Панкова Л.А., Трахтенгерц Э.А. Субъективность в интеллектуальном анализе данных // М. ИПУ. 1999.

3.3 Киселев М., Соломатин Е. Средства добычи знаний в бизнесе и финансах // Открытые системы №4, 1997, с. 41-44.

3.4 Хэмминг Р.В. Численные методы // М. Наука. 1968.

3.5 Computerworld 26/98 <http://koi.www.osp.ru/cw1998/26/details.htm>

3.6 ComputerWeekly, 1998. №24.

3.7 Рощупкина В.Д., Шапот М.Д. Интеллектуальный анализ данных в бизнес приложениях: подход фирмы Cognos// Новости искусственного интеллекта. 1997, №4, с. 25-53.

3.8 Аджиев В. MineSet – визуальный инструмент аналитика // Открытые системы 1997, №3. <http://www.osp.ru/os/1997/03/73.htm>.

3.9 Визуальные инструментальные средства извлечения и обработки данных // <http://into.pu.ru/eng/school/sc56a/tchpager/pildesda/mineset/htmls/vtools.htm>.

3.10 Qussaidene V., Chopard B., Pichet O.V., Tomassini M. Parallel genetic programming and its application to trading model production // Parallel computing. 1997. V.23. P. 1183-1198.

3.11 Стецюра Г.Г. Эволюционные методы в задачах управления, выбора и оптимизации // Приборы и системы управления. 1998, №3, с. 54-62.

3.12 Michlewitch L. Genetic algorithms + data structures = evolution programs // Berlin, Springer Verlag, 1996.

3.13 Reeves C.R. Modern heuristic techniques for combinatorial problems // Blackwell Scientific Publications Oxford. 1993.

3.14 Норенков И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // Информационные технологии. 1999, №2, с.2-7.

3.15 Норенков И.П. Генетические алгоритмы комбинирования эвристик в задачах дискретной оптимизации // Информационные технологии. 1999, №2, с. 2-7.

3.16 Daponte P., Grimaldi D., Artificial neural networks in measurements// Measurement №2. 1998, v. 23, p. 93-115.

3.17 Горбань А.Н., Россиев Д.Д. Нейронные сети на персональном компьютере // Новосибирск. Наука. 1996.

3.18 Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. // М.: Финансы и статистика, 1996.

3.19 Бэстенс Д.-Э., Ван ден Берг В.-М., Вуд Д. Нейронные сети и финансовые рынки // М. ТВП. 1997.

3.20 Рощупкина Б.Д., Шапот М.Д. Интеллектуальный анализ данных в бизнес-приложениях: подход фирмы Cognos// Новости искусственного интеллекта. 1997, №4. С. 25-53.

3.21 Дюран Б., Смит Г. Кластерный анализ // М. Статистика, 1997.

3.22 Айвазян С.А и др. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности // М. Финансы и статистика. 1989.

3.23 Ван-дер-Варден Б.Л. Математическая статистика // М. ПЛ. 1960.

3.24 Айвазян С.А, Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных // М. Финансы и статистика, 1983.

- 3.25 Дрейнер Н., Смит г. Прикладной регрессионный анализ // М. Статистика. 1973.
- 3.26 Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ // М. Мир. 1982.
- 3.27 Chen S.-J. Hwang C.-L. Fuzzy multiple attribute decision making // Springer Verlag. Berlin. 1992.
- 3.28 Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий // М.: Радио и связь. 1993.
- 3.29 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М.: СИНТЕГ. 1998.
- 3.30 Хирота К. Теория нечетких множеств. В кн. Прикладные нечеткие системы. Перевод с японского // М. Мир. 1993, с.18-62.
- 3.31 Леунг П. Разделение на торговые зоны в нечетких условиях. В книге «Нечеткие множества и теория возможностей». Под ред. Р. Ягера // М. Радио и связь. 1986, с. 339-349.
- 3.32 Дж. Сорос. Жур. BOSS, 1998, №7, с. 12.
- 3.33 Бахвалов Л.А. Копелов М.Л. Генетические алгоритмы в задаче управления активами банка // Приборы и системы управления. 1999, №4, с.14-16.
- 3.34 Кузнецов М.В., Овчинников А.С. Технический анализ рынка ценных бумаг // М. ИНФРАМ, 1996.
- 3.35 Оценка качества программных средств. ГОСТ 28195-89 // М. Издательство стандартов, 1989.
- 3.36 Былинович А.П. Макрохромосомная оптимизация оценки качества программных средств // Автоматизация проектирования, 1999, №1, с. 15-20.
- 3.37 Фу К.С., Исидзука М., Яо Дз. Т.П. Применение нечетких множеств для оценки устойчивости строительных конструкций при землетрясениях. В кн. Нечеткие множества и теория возможностей // М. Радио и связь. 1986.
- 3.38 Gorban A.N., Waxman C. Neural networks for political forecast // Proc. WCNN'95 (World Congress of Neural Network' 95) - Washington, D.C., July, 1995, p. 179-184).
- 3.39 Lichtman A.J., Keilis-Borok V.I. Pattern recognition as applied to presidential elections in USA, 1860-1980, role of integral social, economic and political traits. Contribution #3760 California Institute of Technologies, Division of Geological and Planetary Sciences, 1984.
- 3.40 Bardes B.A. Senatorial realignment on foreign aid, 1953-1972: a discrimination // University of Cincinnati. 1975.
- 3.41 Клекка У.Р. Дискриминантный анализ. В кн. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ // М. Финансы и статистика, 1989.
- 3.42 Aleskerov F., Ersel H., Yolalan R. Multicriterial methods for evaluating bank branch performance. Discussion paper series №97-01. Arastirma bolumu. Research department.
- 3.43 Aleskerov F. Multicriterial interval choice models // Information science. 1999, №1, p. 14-26.
- 3.44 Aleskerov F. Voting models in the arrovian framework. Social choice theory: re-examination (eds. K. Arrow, A. Sen, K. Susumura) // Macmillan Press. 1997.
- 4.1 Андреев А.Ф. Оценка эффективности и планирование проектных решений в нефтегазовой промышленности // М. ГАИГ. 1997.
- 4.2 Управление проектами. Под общей редакцией В.Д. Шапиро // СПб Три. 1996.

- 4.3 Project Management Body of Knowledge (PM Bok) // Project Management Institute. Drexel Hill. Pennsylvania. 1987.
- 4.4 Гуревич В.Л. Предисловие научного редактора к книге В.Н. Буркова и Д.А. Новикова. Как управлять проектами // М. СИНТЕГ - ГЕО. 1997.
- 4.5 Hammer M., Champy J. Reengineering the corporation: A Manifesto for Business Revolution // N-Y: Harper Collins, 1993.
- 4.6 Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса // М; Финансы и статистика, 1997.
- 4.7 Davenport T.H. Business innovation, reengineering work through information technology // Boston: Harvard Business School Press, 1993.
- 4.8 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка формирования рациональной сети предприятий обслуживания // Известия РАН. Теория и системы управления в печати.
- 4.9 Лимитовский М.А. Основы оценки инвестиционных и финансовых решений // Дека. М. 1998.
- 4.10 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М: СИНТЕГ, 1998.
- 4.11 Краснощеков П.С. О чем умолчал Билл Гейтс // Вестник РАН. Т. 68. 1998, №11, с. 980-985.
- 4.12 Croup Systems Overview // <http://www.ventara.com/html/overview/html>
- 4.13 Геpp P. Романтика. Предотпускные заметки // PC Magazine. Russian edition. 1999, №8, с. 980-985.
- 4.14 Трахтенгерц Э.А. Агентно-ориентированные информационные технологии управления проектами // М. ИПУ. 1999.
- 4.15 Deming W.E. Out of the crisis // Cambridge: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1986.
- 4.16 Калянов Г.Н Консалтинг при автоматизации предприятий // М. СИНТЕГ, 1997.
- 4.17 Омельченко И.Н. и др. Промышленная логистика // М. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1997.
- 4.18 Бурков В.Н. Опыт реформирования промышленных предприятий в России. // Современные технологии управления. М. Фонд "Проблемы управления", 1998, с.40-61.
- 4.19 Неруш Ю.М. Коммерческая логистика // М. Банки и биржи. 1997.
- 5.1 Трахтенгерц Э.А., Григорян А.К. Компьютерная поддержка рационального плана переработки и транспортировки нефти с учетом субъективных предпочтений руководителя // Труды Института проблем управления. В печати.
- 5.2 Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений // М: СИНТЕГ, 1998.
- 5.3 Junemann R. Materialfluss und Logistik: System technische Grundlagen mit Praxisbeispielen // Berlin: Springer Verlag. 1989.
- 5.4 Омельченко И.Н. и др. Промышленная логистика // М. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1997.
- 5.5 Pfohl H.Ch. Logistik system: betriebswirtschaftliche Grundlange // Berlin springer Verlag. 1990.