

О. И. Ларичев

**Теория и методы  
принятия решений,  
а также  
Хроника событий  
в Волшебных Странах**

*Рекомендовано Министерством образования  
Российской Федерации в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений*

Москва · «Логос» · 2000

**УДК 519.816+338.24**  
**ББК 65.050.2**  
**Л25**

## **Федеральная программа книгоиздания России**

**Рецензенты:**

**Доктора физико-математических наук *А. П. Афанасьев, А. В. Лотов***  
**Доктор философских наук *В. Н. Садовский***

**Ларичев О. И.**

**Л25** Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.: ил.

**ISBN 5-88439-046-7**

Рассматриваются понятия и методы, определяющие процессы принятия решений, а также инструменты их обоснования и поддержки. Освещаются аксиоматические теории рационального поведения, многокритериальные решения при объективных моделях, методы оценки и сравнения многокритериальных альтернатив, особенности переработки информации человеком в связи с принятием решений. Раскрываются современные подходы к построению экспертных баз данных, анализу и принятию решений, деятельности консультативных фирм и консультантов по проблемам принятия решений.

Для студентов вузов, обучающихся по направлениям и специальностям управления (менеджмента) и экономики, вычислительной техники и информатики. Представляет интерес для широкого круга специалистов.

**ББК 65.050.2**

**ISBN 5-88439-046-7**

**© Ларичев О. И., 2000**  
**© «Логос», 2000**

## Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	13
Свапландия (краткая географическая справка).....	13
Сложный выбор супругов из Монтландии .....	14
ЛЕКЦИЯ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	15
1. Люди, принимающие решения .....	15
2. Люди и их роли в процессе принятия решений .....	16
3. Особая важность проблем индивидуального выбора .....	18
4. Альтернативы.....	18
5. Критерии .....	19
6. Оценки по критериям .....	21
7. Процесс принятия решений.....	21
8. Множество Эджворта–Парето .....	22
9. Типовые задачи принятия решений.....	24
10. Пример согласования интересов ЛПР и активных групп .....	25
11. Многодисциплинарный характер науки о принятии решений .....	27
Выводы .....	29
Список литературы.....	29
Контрольное задание .....	30
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	33
Университет Власти в Монтландии.....	33
Можно ли научить искусству вершить историю? .....	34
ЛЕКЦИЯ 2. АКСИОМАТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ .....	35
1. Рациональный выбор в экономике .....	35
2. Аксиомы рационального поведения .....	36
3. Задачи с вазами .....	37
4. Деревья решений.....	39
5. Парадокс Алле .....	43
6. Нерациональное поведение. Эвристики и смещения .....	44
7. Объяснения отклонений от рационального поведения.....	47
8. Должны ли экономисты принимать во внимание отклонения поведения людей от рационального? .....	47
9. Теория проспектов .....	49
10. Теория проспектов и парадокс Алле .....	51
11. Новые парадоксы .....	52
Выводы .....	52
Список литературы.....	53
Контрольное задание .....	54
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	57
Компьютерная игра в Университете Власти .....	57
ЛЕКЦИЯ 3. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ОБЪЕКТИВНЫХ МОДЕЛЯХ.....	59
1. Модели .....	59
2. Подход исследования операций.....	60
3. Появление многокритериальности .....	61

4. Первые многокритериальные решения: сколько строить ракет? .....	63
5. Разные типы проблем .....	65
6. Два пространства .....	67
7. Многокритериальный анализ экономической политики.....	68
8. Две трудности для ЛПР.....	70
9. Исследование решений на множестве Э–П .....	70
10. Постановка многокритериальной задачи линейного программирования .....	71
11. Человекомашинные процедуры .....	71
12. Весовые коэффициенты важности критериев.....	72
13. Классификация ЧМП .....	73
14. Прямые человекомашинные процедуры .....	74
15. Процедуры оценки векторов .....	75
16. Процедуры поиска удовлетворительных значений критериев.....	76
17. Пример применения метода STEM: как управлять персоналом ....	78
Выводы .....	82
Список литературы.....	83
Контрольное задание .....	84
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	87
Подарок студентам Университета Власти .....	87
ЛЕКЦИЯ 4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И СРАВНЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ .....	88
1. Задачи принятия решений с субъективными моделями .....	88
2. Снова об этапах процесса принятия решений.....	88
3. Различные группы задач принятия решений.....	89
4. Пример.....	90
5. Многокритериальная теория полезности (MAUT).....	92
5.1. Основные этапы подхода MAUT.....	92
5.2. Аксиоматическое обоснование .....	92
5.3. Следствия из аксиом.....	94
5.4. Построение однокритериальных функций полезности.....	95
5.5. Проверка условий независимости.....	97
5.6. Определение весовых коэффициентов (коэффициентов важности) критериев.....	99
5.7. Определение полезности альтернатив .....	100
5.8. Общая характеристика подхода MAUT.....	100
6. Подход аналитической иерархии .....	101
6.1. Основные этапы подхода АНР .....	101
6.2. Структуризация.....	102
6.3. Парные сравнения.....	103
6.4. Вычисление коэффициентов важности .....	104
6.5. Определение наилучшей альтернативы.....	105
6.6. Общая характеристика подхода АНР .....	105
7. Методы ELECTRE ранжирования многокритериальных альтернатив ..	106
7.1. Основные этапы в методах ELECTRE .....	106
7.2. Индексы согласия и несогласия .....	107
7.3. Бинарные отношения. Выделение ядер.....	109
7.4. Общая характеристика подхода .....	110

8. Системы поддержки принятия решений .....	110
Выводы .....	110
Список литературы.....	111
Контрольное задание .....	112
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	115
Модель человеческого мозга «Грандом», созданная в Монтландии ...	115
<b>ЛЕКЦИЯ 5. ЧЕЛОВЕЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ЕЕ СВЯЗЬ С ПРИНЯТИЕМ РЕШЕНИЙ .....</b>	<b>117</b>
1. Этапы переработки информации, типы памяти.....	117
2. Модель памяти.....	118
3. Кратковременная память .....	118
3.1. Три этапа переработки информации в кратковременной памяти..	119
3.2. Кодирование .....	119
3.3. Хранение .....	119
3.4. Магическое число .....	120
3.5. Денежный насос .....	122
3.6. Последовательная обработка информации.....	123
3.7. Извлечение .....	124
4. Дескриптивные исследования многокритериальных проблем .....	124
4.1. Прослеживание процессов принятия решений .....	125
4.2. Результаты дескриптивных исследований.....	127
5. Долговременная память .....	128
5.1. Кодирование .....	129
5.2. Хранение .....	129
5.3. Извлечение .....	130
6. Психологические теории человеческого поведения при принятии решений .....	131
6.1. Теория поиска доминантной структуры .....	131
6.2. Теория конструирования стратегий.....	131
7. Исследование возможностей человека в задачах классификации многомерных объектов .....	132
7.1. Схема экспериментов .....	132
7.2. Параметры, используемые для оценки поведения испытуемых в задачах классификации .....	134
7.3. Описание экспериментов .....	136
7.4. Результаты экспериментов .....	137
7.5. Обсуждение результатов первой серии экспериментов .....	138
7.6. Анализ и обсуждение результатов второй серии экспериментов...	140
7.7. Общее обсуждение .....	142
Выводы .....	144
Список литературы.....	145
Контрольное задание .....	145
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	149
Компьютерные двойники .....	149
<b>ЛЕКЦИЯ 6. ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ РЕШЕНИЯ. ПОСТРОЕНИЕ БАЗ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ .....</b>	<b>151</b>
1. Процесс мышления как манипулирование символами .....	151
2. Два типа знания .....	152

3. Время и условия становления эксперта .....	153
4. Трансформация системы переработки информации .....	153
5. Иерархические структуры хранения знаний .....	154
6. Черты поведения эксперта .....	155
7. Подсознательный характер экспертных знаний .....	155
8. Трудности получения экспертных знаний .....	156
9. Экспертные знания в задачах классификации с явными признаками ..	157
10. Формальная постановка задачи классификации .....	158
11. Основные идеи метода экспертной классификации .....	159
11.1. Структуризация проблемы .....	159
11.2. Классификация состояний объекта исследования .....	160
11.3. Гипотеза о характерности .....	161
11.4. Проверка информации эксперта и гипотезы о характерности ....	163
11.5. Определение последовательности состояний для предъявления эксперту в процессе классификации .....	164
11.6. Трудоемкость построения баз знаний .....	164
11.7. Проверка качества баз знаний .....	165
12. Граничные элементы классификации .....	165
13. Решающие правила экспертов .....	166
14. Система диагностики заболеваний группы «Острый живот», пост- роенная на основе метода экспертной классификации .....	168
Выводы .....	172
Список литературы .....	172
Контрольное задание .....	174
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ .....	177
Компьютерная демократия Монтландии .....	177
ЛЕКЦИЯ 7. КОЛЛЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ .....	178
1. Парадокс Кондорсе .....	178
2. Правило большинства голосов .....	179
3. Метод Борда .....	180
4. Аксиомы Эрроу .....	181
5. Попытки пересмотра аксиом .....	184
6. Теорема невозможности и реальная жизнь .....	184
7. Принятие коллективных решений в малых группах .....	185
8. Организация и проведение конференций по принятию решений .....	188
9. Метод организации работы ГПР .....	189
9.1. Предварительные этапы .....	190
9.2. Анализ собранной информации .....	191
9.3. Проведение конференции по принятию решений .....	195
9.4. Практический пример .....	195
Выводы .....	196
Список литературы .....	197
Контрольное задание .....	198
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ .....	201
Военный переворот в Свапландии .....	201
К событиям в Свапландии .....	202
ЛЕКЦИЯ 8. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА О НАЗНАЧЕНИЯХ ....	203
1. Определение и особенности .....	203

2. Постановка многокритериальной задачи о назначениях .....	205
2.1. Содержательная постановка задачи .....	206
2.2. Критерий оптимальности решения МЗН .....	206
2.3. Формальная постановка задачи .....	207
3. Пример .....	209
4. Различные типы задач о назначениях .....	210
5. Основные алгоритмы решения МЗН .....	212
5.1. Различные индексы соответствия .....	212
5.2. Поиск решения многокритериальной задачи о назначениях .....	213
6. Этап анализа данных и проверки существования идеального решения .....	214
7. Формирование области допустимых решений .....	218
8. Выявление предпочтений ЛПР .....	222
8.1. Статистические оценки сложности задач выявления предпочтений ЛПР .....	222
8.2. Основная процедура выявления предпочтений ЛПР .....	223
8.3. Выявление предпочтений ЛПР: вспомогательная процедура .....	226
9. Поиск окончательного решения МЗН .....	232
9.1. Поиск решения МЗН типа А .....	233
9.2. Поиск решения МЗН типа В .....	233
9.3. Поиск решения МЗН типа С .....	233
9.4. Поиск решения МЗН типа D .....	235
10. Практическое применение .....	236
Выводы .....	237
Список литературы .....	238
Контрольное задание .....	238
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ .....	241
Стратегия правления в Свапландии .....	241
Прыжок в никуда .....	243
ЛЕКЦИЯ 9. ВЕРБАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ .....	244
1. Особый класс задач принятия решений: неструктуризованные проблемы с качественными переменными .....	244
2. Качественная модель лица, принимающего решения .....	245
2.1. Черты человеческой системы переработки информации .....	245
2.2. Особенности поведения человека при принятии решений .....	246
3. Какими должны быть методы анализа неструктуризованных проблем .....	246
4. Измерения .....	247
4.1. Качественные измерения .....	247
4.2. Сравнительные качественные оценки .....	250
5. Построение решающего правила .....	251
6. Проверка информации ЛПР на непротиворечивость .....	252
7. Обучающие процедуры .....	253
8. Получение объяснений .....	254
9. Основные характеристики методов вербального анализа решений ..	254
10. Метод ЗАПРОС (Замкнутые Процедуры у Опорных Ситуаций) ..	255
10.1. Постановка задачи .....	255
10.2. Пример: как оценить проекты? .....	255
10.3. Выявление предпочтений ЛПР .....	257

10.4. Сравнение альтернатив.....	264
10.5. Преимущества метода ЗАПРОС.....	267
10.6. Практическое применение метода ЗАПРОС.....	268
11. Сравнение трех СППР .....	268
Выводы .....	271
Список литературы.....	271
Контрольное задание .....	272
ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ.....	275
Желтый, бурый, зеленый .....	275
ЛЕКЦИЯ 10. КОНСУЛЬТАНТЫ ПО ПРОБЛЕМАМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕ-	
НИЙ И МЕТОДЫ ИХ РАБОТЫ.....	276
1. Всегда ли успешна работа ЛПР?.....	276
2. Консультанты и консультативные фирмы .....	277
3. Некоторые характерные черты деятельности консультативных	
фирм .....	281
3.1. Внимание к нуждам заказчика .....	281
3.2. Конфиденциальный характер результатов работы .....	281
3.3. Независимость от заказчика .....	282
3.4. Высокая квалификация консультантов.....	283
3.5. Совместная работа с заказчиком .....	284
4. Примеры практических задач .....	285
4.1. Планирование развития городов .....	285
4.2. Календарное планирование работы полиграфического предприятия ..	287
5. Роли ЛПР и консультанта .....	287
6. Моральные критерии в деятельности ЛПР и консультанта .....	290
7. Методы принятия решений и искусство их применения .....	292
Выводы .....	294
Список литературы.....	294
Контрольное задание .....	294



## ПРЕДИСЛОВИЕ

В десяти лекциях по принятию решений представлены результаты исследований, проводимых в таких научных дисциплинах, как экономика, прикладная математика, когнитивная психология, информатика и вычислительная техника. Объединяющей их и центральной для этого учебника проблемой является то, как человек принимает решения и как ему помочь в сложных задачах выбора, используя методы и компьютерные системы поддержки. Школьник, поступающий в университет, премьер-министр, проводящий реформы, или брокер, скупающий и продающий акции, — все они решают задачи выбора лучшего варианта действий. В этих задачах есть много общего. Речь идет прежде всего о возможностях и ограничениях человеческой системы переработки информации. Общими являются и методы анализа вариантов действий, которые принято называть методами принятия решений.

Автор стремился написать эту книгу доступно и просто. Каждая из лекций представляет собой введение в обширный мир, где работают ученые, издаются книги, созываются конференции. И все эти меры связаны одной общей проблемой исследования — проблемой выбора, осуществляемого человеком.

Учебник предназначен для студентов самых разных специальностей. К примеру, будущему экономисту адресована вторая лекция (теории полезности и проспектов). Ценные сведения об исследовании операций он может почерпнуть из третьей лекции, знания о вербальном анализе решений — из девятой, знания о коллективном выборе — из четвертой.

Будущему математику-прикладнику необходимы знание проблем исследования операций (третья лекция), сведения об экономических моделях (вторая лекция) и о моделях коллективного выбора (четвертая лекция).

Студентам, изучающим проблемы искусственного интеллекта, адресована шестая лекция (построение баз экспертных

знаний). Для них также будут полезны пятая (человеческая система переработки информации) и девятая (качественные методы принятия решений) лекции.

Для студентов, изучающих теорию организаций, предназначены в первую очередь десятая лекция (о консультативных фирмах), а также восьмая (задача о назначениях) и седьмая (коллективный выбор) лекции.

Учебник полезен и для будущих психологов, которым адресованы пятая лекция (человеческая система переработки информации) и шестая лекция (имитация экспертных суждений).

И, наконец, студентам, изучающим теорию и методы принятия решений, будущим консультантам по задачам принятия решений необходимо знание всех разделов учебника.

Изложение материала проиллюстрировано конкретными примерами, взятыми из опыта практической работы автора и его коллег. В конце каждой лекции приводится список ключевых понятий, знание которых определяет понимание содержания лекции.

Непосредственной основой для создания учебника послужил курс лекций, который автор читает в Московском физико-техническом институте. При написании учебника автор учитывал, что восприятие материала при чтении существенно отличается от его слухового восприятия. Опытный педагог знает, как интересный пример, неожиданное сравнение поддерживают внимание аудитории. Поэтому в учебнике каждую лекцию предваряет вымышленная история, происходящая в двух волшебных странах: Свапландии и Монтландии. Воспитывая своих детей, автор убедился, что сказки могут пробудить интерес к серьезным предметам. Не следует искать в вымышленных историях сходство с реальностью: сказка развивается по своим законам и в ней должен быть счастливый конец.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность своим коллегам. Восьмая лекция написана совместно с М. Ю. Стерниным. При подготовке книги весьма полезными были советы и замечания Е. М. Фуремс и А. В. Лотова. Большую помощь при подготовке рукописи к печати оказали Н. В. Морозова, В. И. Вишневская, А. А. Асанов, Е. В. Нарыжный, В. М. Афанасьев.

# Основные понятия и определения



*Пусть никто не думает, будто можно всегда принимать безошибочные решения, напротив, всякие решения сомнительны; ибо в порядке вещей, что, стараясь избежать одной неприятности, попадаешь в другую. Мудрость заключается только в том, чтобы, взвесив все возможные неприятности, наименьшее зло почесть за благо.*

***Н. Макиавелли. Государь***

## **ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ**

### **Свапландия (краткая географическая справка)**

**Географическое положение.** С. – равнинная страна, расположена на северо-востоке Длинного континента. Северная граница – с Лесной Республикой; на западе, по высокому горному хребту проходит граница с самой богатой и самой сильной страной мира Монтландией; на востоке, по подножью горного плато – граница со Страной Круглой Луны. На юге С. омывается Морем Спокойствия с принадлежащими С. многочисленными островами.

**Население** 45 млн. Плотность населения С. относительно невелика: 60 процентов населения проживает в городах, остальные – в сельской местности.

**Государственное устройство.** С. – королевство, конституционная монархия. В настоящее время, как и последние 300 лет, власть в С. принадлежит династии Ротвигов. Король Ротвиг 15-й, правивший 100 лет назад, даровал народу всеобщее избирательное право, Парламент и Конституцию, согласно которой Правительство назначается Монархом. Парламент может обсуждать действия Правительства, но не имеет права влиять на принятие политических или экономических решений. В стране три политические партии: Великие Патриоты (традиционное большинство в Парламенте), Западные Демократы и Партия Равноправия – партия национальных меньшинств, населяющих юго-восточные окраины.

**Экономическое устройство.** 40 процентов населения занято в сельском хозяйстве, столько же – в промышленности; 20 процентов населения занято в административном аппарате управления, многочисленном и неэффективном.

Наследственные права на землю принадлежат крупным землевладельцам – баронам, которым крестьяне-арендаторы отдают половину урожая; продуктивность сельского хозяйства крайне низка.

Все промышленные предприятия принадлежат государству, существуют только на государственные субсидии и дотации и отличаются низким уровнем производительности труда.

**Природные условия, ландшафт, растительность.** Ландшафт С. низменный, преобладают леса и болота. Страна особенно живописна с высоты, например при взгляде из корзины воздушного шара: густые леса, болота, зеркала озер, большие и малые реки, на берегах которых разбросаны деревни. Города попадают в поле зрения редко, их относительно немного в этой стране.

**Национальный характер.** Народ, населяющий С., флегматичен, склонен к терпению, но в то же время способен на непредсказуемые всплески энергии.

## **Сложный выбор супругов из Монтландии**

«Ну что ты, милочка моя, надумала?— сказал стройный, слегка седеющий господин, житель Монтландии, обращаясь к жене. — Ну зачем нам этот тур в Свапландию? Отсталая страна, да еще и королевство!»

«А мне очень интересно увидеть их старинные маленькие города, я о них читала, — отвечала жена. — Это живая история! И название какое: Серебряная Цепь! Города стоят вдоль дороги, ведущей к столице, и построены на болотах. Вот взгляни — милый проспект».

«Проспекты все милые,— отвечал муж. — Ты вспомни, как в прошлом году нас обокрали в Мерзландии».

«Но ведь в Свапландии должно быть спокойно и безопасно, там же все обожают своего Короля. И посмотри, какой он красавец на обложке последнего журнала!»

«Не надо верить этим журналам. В прошлом году по делам бизнеса я побывал в Свапландии. Народ там бедствует, даже в столице на улицах — нищие на каждом шагу, беспризорные дети. Есть, конечно, и богатые — чиновники и придворные, но их богатство лишь подчеркивает общую нищету. А красавец Король — деспот и самодур. Страна с ее необозримыми равнинами не может прокормить себя и закупает продовольствие у соседей. И вся экономика там держится на золотых и серебряных рудниках».

«Так нам-то что за дело, — отвечала жена, — если нам повезло родиться в нормальной стране. Знаю, тебя опять тянет на Океанские острова, где одно развлечение — казино по вечерам. А мне хочется новых впечатлений, увидеть старинную архитектуру, узнать другую, такую загадочную страну...».

«Тогда едем в Скайленд — ты помнишь, как там чудесно!»

«И очень дорого! Одна дорога чего стоит! Не люблю разбрасывать деньги просто так, а ведь тур в Свапландию самый дешевый».

«Напрасно ты меня не хочешь услышать. Ты и представить себе не можешь, какие тяжелые впечатления обрушатся на тебя. Несчастные люди с протянутой рукой у церквей. Женщины с голодными глазами, покупающие только хлеб и молоко ...»

«Но мы не пойдем в магазины, нас должны кормить в ресторанах, а жить мы будем в пятизвездочных гостиницах. Этот тур — интересный и дешевый, а на нищих можно не обращать внимание».

«Ну хорошо, милочка моя, я согласен. Ведь ты всегда принимаешь удачные решения».

# Лекция 1

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Под *принятием решений* в этой книге понимается особый процесс человеческой деятельности, направленный на выбор наилучшего варианта действий.

### 1. Люди, принимающие решения

Слова «принятие решений» в настоящее время используются очень широко. Говорят, что наилучший вариант решения может быть получен путем математических расчетов, и есть случаи, когда это возможно. Говорят о компьютерах или роботах, принимающих решения, и это тоже имеет место. В данной книге мы рассматриваем задачи принятия решений человеком.

Как в жизни отдельного человека, так и в повседневной деятельности организаций принятие решений является важнейшим этапом, который определяет их будущее. Человек выбирает профессию, друзей, партнера по браку, работу, дом и многое другое, причем история его жизни есть последовательность удачных или неудачных решений. Правители стран, президенты, премьер-министры, короли, цари решают, с кем сотрудничать и с кем воевать, проводить ли реформы, запрещать или разрешать, казнить или миловать. Эти решения составляют основное содержание учебников по истории.

Для подавляющего большинства человеческих решений нельзя точно рассчитать и оценить последствия. Можно лишь предполагать, что определенный вариант решения приведет к наилучшему результату. Однако такое предположение может оказаться ошибочным, потому что никто не может заглянуть в будущее и знать все наверняка.

Поэтому человеческие решения являются исключительно важным для практики и интересным для науки объектом исследования. Уступая компьютеру в скорости и точности вычислений, человек тем не менее обладает уникальным умением быстро оценивать обстановку, выделять главное и отбрасывать второстепенное, соизмерять противоречивые оценки, восполнять неопределенность своими догадками. Эти ценные качества спасали людей на всем протяжении человеческой истории. Как

человек принимает решения, почему одни преуспевают там, где другие терпят неудачи, — во всем этом следует разобраться. Современные знания о человеке, делающем выбор, и средствах, которые могут ему помочь в этом, изложены в данной книге.

## 2. Люди и их роли в процессе принятия решений

В процессе принятия решений люди могут играть разные роли. Будем называть человека, фактически осуществляющего выбор наилучшего варианта действий, *лицом, принимающим решения* (ЛПР).

Наряду с ЛПР следует выделить как отдельную личность *владельца проблемы* — человека, который, по мнению окружающих, должен ее решать и несет ответственность за принятые решения. Но это далеко не всегда означает, что владелец проблемы является также и ЛПР. Конечно, он может быть таковым, и история дает нам многочисленные примеры совмещения этих двух ролей. Но бывают ситуации, когда владелец проблемы является лишь одним из нескольких человек, принимающих участие в ее решении. Он может быть председателем коллективного органа, принимающего решения, вынужденным идти на компромиссы, чтобы достичь согласия.

Иногда личности ЛПР и владельца проблемы просто не совпадают. Мы все знаем семьи, в которых номинальный глава семьи ничего не решает (см. приведенный выше диалог супругов). Точно таким же образом некоторые руководители стремятся переложить на других принятие решений: глава фирмы полагается на своего заместителя, а президенты подписывают подготовленные другими (и иногда противоречивые) распоряжения. Таким образом, владелец проблемы и ЛПР могут быть как одной, так и разными личностями.

Третьей ролью, которую может играть человек в процессе принятия решений, является роль руководителя или участника *активной группы* — группы людей, имеющих общие интересы и старающихся оказать влияние на процесс выбора и его результат. Так, пытаясь повлиять на экономическую политику страны, одни активные группы организуют забастовки, другие — шумную кампанию поддержки правительства в печати, третьи выделяют средства для поддержки правительства — дают займы.



Человек осуществляет ответственный выбор, находясь в положении *избирателя*, который должен решить, за какую личность или за какую политическую партию голосовать. При этом избиратель является одним из многих участников процесса принятия коллективного решения.

Если решения принимаются малой группой, члены которой формально имеют равные права (жюри, комиссия), то человек является *членом группы*, принимающей решения. Главное в деятельности такой группы — достижение согласия при выработке совместных решений.

В процессе принятия решений человек может выступать в качестве *эксперта*, т. е. профессионала в той или иной области, к которому обращаются за оценками и рекомендациями все люди, включенные в этот процесс. Так, при перестройке организации ЛПР обращается за советом к опытному администратору. Эксперты могут помочь бизнесмену в оценке экономической эффективности выпуска новой продукции и т.д.

При принятии сложных (обычно стратегических) решений в их подготовке иногда принимает участие *консультант по принятию решений*. Его роль сводится к разумной организации процесса принятия решений: помощи ЛПР и владельцу проблемы в правильной постановке задачи, выявлении позиций активных групп, организации работы с экспертами. Консультант (или аналитик) обычно не вносит свои предпочтения, оценки в принятие решений, он только помогает другим взвесить все «за» и «против» и выработать разумный компромисс.

Кроме того, в принятии решений неявно участвует окружение ЛПР, сотрудники той организации, от имени которой ЛПР принимает решения. Обычно эта группа людей имеет общие взгляды, общие ценностные установки. Именно этой группе ЛПР в первую очередь объясняет логичность, разумность, обоснованность своего решения. В связи с этим, хотя ЛПР принимает индивидуальные решения, он учитывает политику и предпочтения данной группы лиц.

### 3. Особая важность проблем индивидуального выбора

На практике индивидуальные задачи принятия решений весьма распространены в обществе. Возьмите фирмы, компании, банки. Несмотря на существование коллегий, правлений и советов, обычно есть центральная фигура – ЛПР, определяющая курс, тактику и стратегию действий на предстоящий период. От прозорливости этого лидера, его личных качеств зависит очень многое. Среди подобных качеств у успешных ЛПР обязательно присутствует умение договариваться с людьми, убеждать их в правильности и обоснованности своих действий. То же самое мы видим в правительствах, политических партиях – там всегда выдвигаются лидеры, и именно они принимают основные решения.

Широкая распространенность задач индивидуального выбора, возможность учесть коллективные предпочтения, пристрастия и интересы активных групп при решении этих задач делают в настоящее время проблемы индивидуального выбора наиболее практически важным классом задач принятия решений. Поэтому особое внимание мы будем уделять именно процессам принятия индивидуальных решений.

### 4. Альтернативы

Варианты действий принято называть *альтернативами*. Альтернативы – неотъемлемая часть проблемы принятия решений: если не из чего выбирать, то нет и выбора. Следовательно, для постановки задачи принятия решений необходимо иметь хотя бы две альтернативы.

Альтернативы бывают независимыми и зависимыми. Независимыми являются те альтернативы, любые действия с которыми (удаление из рассмотрения, выделение в качестве единственно лучшей) не влияют на качество других альтернатив. При зависимых альтернативах оценки одних из них оказывают влияние на качество других. Имеются различные типы зависимости альтернатив. Наиболее простым и очевидным является непосредственная групповая зависимость: если решено рассматривать хотя бы одну альтернативу из группы, то надо рассматривать и всю группу. Так, при планировании развития города решение о сохранении исторического центра влечет за собой рассмотрение всех вариантов его реализации.

Задачи принятия решений существенно различаются также в зависимости от наличия альтернатив на момент выработки политики и принятия решений. Встречаются задачи, когда все альтернативы уже заданы, уже определены, и необходимо лишь выбрать лучшие из этого множества. Например, мы можем искать наиболее эффективную фирму из уже имеющихся, определять лучший университет, лучшую из построенных яхт и т.д. Особенностью этих задач является замкнутое, нерасширяющееся множество альтернатив. Но существует множество задач другого типа, где все альтернативы или их значительная часть появляются после принятия основных решений. Например, необходимо разработать правило открытия кредитов в банке для организаций или частных лиц. Здесь альтернативы (конкретные организации или лица) принципиально появляются лишь после выработки и оглашения правил.

Когда альтернатив много (сотни и тысячи), внимание ЛПР не может сосредоточиться на каждой из них. В таких ситуациях возрастает необходимость в четких правилах выбора, в процедурах использования экспертов, в разработке совокупности правил, позволяющих проводить в жизнь непротиворечивую и последовательную политику.

Во всем этом существует потребность и тогда, когда число альтернатив невелико (до 20). В таких задачах, как, например, выбор плана политической кампании, выбор трассы газопровода, выбор плана развития города, основных альтернатив, с рассмотрения которых начинается выбор, сравнительно немного. Но они не являются единственно возможными. Часто на их основе в процессе выбора возникают новые альтернативы. Первичные, основные альтернативы не всегда удовлетворяют участников процесса выбора. Однако они помогают им понять, чего конкретно не хватает, что реализуемо при данной ситуации, а что нет. Этот класс задач можно назвать задачами с конструируемыми альтернативами.

## **5. Критерии**

В современной науке о принятии решений считается, что варианты решений характеризуются различными показателями их привлекательности для ЛПР. Эти показатели называют при-

знаками, факторами, атрибутами или критериями. Мы принимаем для последующего изложения термин «критерий». В волшебной стране Монтландии у жены было два критерия оценки предстоящих путешествий — стоимость и возможность получить новые впечатления.

Будем называть *критериями оценки альтернатив* показатели их привлекательности (или непривлекательности) для участников процесса выбора.

В профессиональной деятельности выбор критериев часто определяется многолетней практикой, опытом. В подавляющем большинстве задач выбора имеется достаточно много критериев оценок вариантов решений. Эти критерии могут быть независимыми или зависимыми. Зависимыми называются те критерии, при которых оценка альтернативы по одному из них определяет (однозначно либо с большой степенью вероятности) оценку по другому критерию. Так, мы можем ожидать, что высококачественная элитная квартира является, как правило, дорогой. Зависимость между критериями приводит к появлению целостных образов альтернатив, которые имеют для каждого из участников процесса выбора определенное смысловое содержание.

На сложность задач принятия решений влияет также количество критериев. При небольшом числе критериев (два—три) задача сравнения двух альтернатив достаточно проста и прозрачна, качества по критериям могут быть непосредственно сопоставлены и выработан компромисс. При большом числе критериев задача становится малообозримой. К счастью, при большом количестве критериев они обычно могут быть объединены в группы, имеющие конкретное смысловое значение и название. Основанием для естественной группировки критериев является возможность выделить плюсы и минусы альтернатив, их достоинства и недостатки (например, стоимость и эффективность). Такие группы, как правило, независимы. Выявление структуры на множестве критериев делает процесс принятия решений значительно более осмысленным и эффективным.

## 6. Оценки по критериям

Использование критериев для оценки альтернатив требует определения градаций качества: лучших, худших и промежуточных оценок. Иначе говоря, существуют шкалы оценок по критериям.

В принятии решений принято различать шкалы непрерывных и дискретных оценок, шкалы количественных и качественных оценок. Так, для критерия «стоимость» может быть использована непрерывная количественная шкала оценок (в денежных единицах). Для критерия «наличие дачи» может быть качественная двоичная шкала: есть либо нет. Кроме категорий «качественные – количественные», «непрерывные – дискретные» в принятии решений различают следующие типы шкал.

1. *Шкала порядка* – оценки упорядочены по возрастанию или убыванию качества. Примером может служить шкала экологической чистоты района около места жительства:

- очень чистый район;
- вполне удовлетворительный по чистоте;
- экологическое загрязнение велико.

2. *Шкала равных интервалов* – интервальная шкала. Для этой шкалы имеются равные расстояния по изменению качества между оценками. Например, шкала дополнительной прибыли для предпринимателя может быть следующей: 1 млн, 2 млн, 3 млн и т.д. Для интервальной шкалы характерно, что начало отсчета выбирается произвольно, так же как и шаг (расстояние между оценками) шкалы.

3. *Шкала пропорциональных оценок* – идеальная шкала. Примером является шкала оценок по критерию стоимости, отсчет в которой начинается с установленного значения (например, с нулевой стоимости).

В принятии решений чаще всего используются порядковые шкалы и шкалы пропорциональных оценок.

## 7. Процесс принятия решений

Не следует думать, что принятие решений есть одномоментный акт. Очень часто это достаточно длинный и мучительный процесс. Г. Саймон [1] выделяет в нем три этапа: поиск информации, поиск и нахождение альтернатив и выбор лучшей альтернативы.

На первом этапе собирается вся доступная на момент принятия решения информация: фактические данные, мнение экспертов. Там, где это возможно, строятся математические модели; проводятся социологические опросы; определяются взгляды на проблему со стороны активных групп, влияющих на ее решение. Второй этап связан с определением того, что можно, а что нельзя делать в имеющейся ситуации, т. е. с определением вариантов решений (альтернатив). И уже третий этап включает в себя сравнение альтернатив и выбор наилучшего варианта (или вариантов) решения.

## 8. Множество Эджворта–Парето

Вернемся к выбору супругами из Монтландии очередного туристского тура. Напомним, что при оценке альтернатив использовались два критерия: стоимость и привлекательность. Варианты, которые упоминались в диалоге супругов, можно представить в виде табл. 1.

Альтернативы, представленные в табл. 1, изображены графически на рис. 1. Из рисунка очевидно, почему супруги предпочитают тур в Свапландию: он не хуже по критериальным оценкам каждого из двух других туров, а по одному из критериев — явно лучше.

Введем следующее определение. Назовем альтернативу *А доминирующей* по отношению к альтернативе В, если по всем критериям оценки альтернативы А не хуже, чем альтернативы В, а хотя бы по одному критерию оценка А лучше. При этом альтернатива В называется *доминируемой*.

Предположим, что по какой-то причине поездка в Свапландию оказалась невозможной (например, из-за участившихся

Таблица 1

Оценки альтернативных вариантов туров

Альтернатива	Критерий	
	Стоимость	Привлекательность, новые впечатления
1. Океанские острова	Небольшая	Малая
2. Скайландия	Высокая	Большая
3. Свапландия	Небольшая	Большая

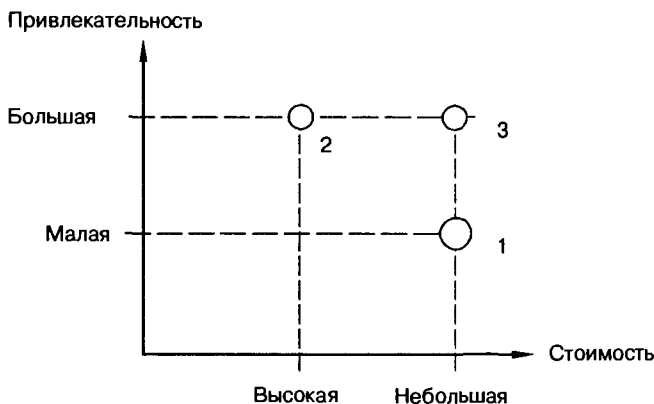


Рис.1. Представление альтернатив их оценками по критериям

нападений на туристов). В соответствии с рис.1 туры в Скай-ландию и на Океанские острова не находятся в отношении доминирования. По одному из критериев лучше альтернатива 2, по другому — альтернатива 1.

Введем следующее определение: альтернативы относятся к множеству Эджворта–Парето (Э–П), если каждая из них превосходит любую другую по какому-то из критериев.

Множество Эджворта–Парето названо так по именам ученых, впервые обративших внимание на альтернативы, не уступающие друг другу по критериальным оценкам, т. е. на альтернативы, не находящиеся в отношении доминирования. Альтернативы, принадлежащие множеству Э–П, принято называть *несравнимыми*. Их действительно невозможно сравнить непосредственно на основе критериальных оценок. Но если решение должно быть принято (например, супруги должны из многих туров выбрать один), то сравнение альтернатив, принадлежащих множеству Э–П, возможно на основе дополнительной информации. Так, в нашем примере супруги должны решить, что для них более привлекательно: экономия денег или обилие новых впечатлений. Такое сравнение является основным для упомянутого выше третьего этапа процесса принятия решений.

Нетрудно убедиться, что множество Э–П включает в себя наиболее «контрастные» альтернативы, сложные для сравнения. Если стоит задача выбора одной лучшей альтернативы, то она обязательно принадлежит множеству Э–П. Поэтому во мно-

гих методах принятия решений очень важен этап выделения множества Э—П из всего множества заданных альтернатив.

Один из возможных способов решения этой задачи состоит в попарном сравнении альтернатив и исключении доминируемых. Задача выделения множества Э—П обычно рассматривается как предварительная. За ней следует наиболее существенный этап принятия решений.

## 9. Типовые задачи принятия решений

Из трех приведенных выше этапов процесса принятия решений наибольшее внимание традиционно уделяется третьему этапу. За признанием важности поиска информации и выделения альтернатив следует понимание того, что эти этапы в высшей степени неформализованы. Способы прохождения этапов зависят не только от содержания задачи принятия решений, но и от опыта, привычек, личного стиля ЛПР и его окружения. Хотя эти же факторы присутствуют при сравнении альтернатив, здесь их роль заметно меньше. Научный анализ проблем принятия решений начинается с момента, когда хотя бы часть альтернатив и/или критериев известна.

В современной науке о принятии решений центральное место занимают многокритериальные задачи выбора. Считается, что учет многих критериев приближает постановку задачи к реальной жизни. Традиционно принято различать три основные задачи принятия решений.

1. *Упорядочение альтернатив.* Для ряда задач представляется вполне обоснованным требование определить порядок на множестве альтернатив. Так, члены семьи упорядочивают по степени необходимости будущие покупки, руководители фирм упорядочивают по прибыльности объекты капиталовложений и т.д. В общем случае требование упорядочения альтернатив означает определение относительной ценности каждой из альтернатив.

2. *Распределение альтернатив по классам решений.* Такие задачи часто встречаются в повседневной жизни. Так, при покупке квартиры или дома, при обмене квартиры люди обычно делят альтернативы на две группы: заслуживающие и не заслуживающие более подробного изучения, требующего затрат сил и



средств. Группы товаров различаются по качеству. Абитуриент делит на группы вузы, в которые он стремится поступить. Точно так же люди часто выделяют для себя группы книг (по привлекательности для чтения), туристские маршруты и т.д.

3. *Выделение лучшей альтернативы.* Эта задача традиционно считалась одной из основных в принятии решений. Она часто встречается на практике. Выбор одного предмета при покупке, выбор места работы, выбор проекта сложного технического устройства – эти примеры хорошо знакомы. Кроме того, такие задачи распространены в мире политических решений, где альтернатив сравнительно немного, но они достаточно сложны для изучения и сравнения. Например, необходим лучший вариант организации обмена денег, лучший вариант проведения земельной реформы и т.д. Заметим, что особенностью многих задач принятия политических решений является конструирование новых альтернатив в процессе решения проблем.

## **10. Примеры согласования интересов ЛПР и активных групп**

Выше мы уже говорили об активных группах как об участниках процесса принятия решений. Даже небольшие группы людей могут при активных действиях влиять как на процедуры, так и на результат процесса принятия решений. В связи с этим разумный ЛПР должен уже на первых этапах изучения проблемы выделить активные группы, оценить по их критериям имеющиеся альтернативы и попытаться найти приемлемое для всех решение.

Рассмотрим в качестве примеров три практические задачи выбора. Первая состояла в выборе трассы газопровода на юге европейской территории СССР [2], вторая – в выборе трассы газопровода на севере Сибири [12], третья – в выборе трассы нефтепровода на Аляске [13]. Все три задачи характеризовались следующими особенностями: небольшое число альтернатив (два–три), большое число критериев (шесть–десять). Было необходимо выбрать одну, лучшую, альтернативу.

Список критериев обычно включал в себя: стоимость постройки трубопровода; время строительства; надежность трубо-

провода; вероятность аварий; последствия аварий; влияние на окружающую среду; безопасность для населения и т.д.

Важной особенностью всех трех задач являлось наличие активных групп, влияющих на процесс выбора. К ним относятся: организация, заинтересованная в постройке трубопровода; организация, осуществляющая строительство; представители местной власти и местного населения; государственное ведомство, ответственное за защиту окружающей среды, и т.д.

Отметим, что три практические задачи решались в разных странах: в бывшем СССР, в современной России и в США. Несмотря на существенные различия в процедурах принятия решений, активные группы всюду играли важную роль. Даже в СССР, при централизованной экономике, было необходимо согласовать проект газопровода с четырьмя организациями: ведомством, определяющим задание на проектирование; проектным институтом; региональной администрацией и строительным подрядчиком.

Каждый из участников процесса выбора ориентировался на часть критериев, соответствующую своим предпочтениям, и оценивал альтернативы со своей точки зрения. Соппротивление отдельных участников процесса выбора приводило к затягиванию согласования и в конечном итоге к срыву строительства.

Еще более влиятельными были активные группы в двух других примерах. Как известно, в России сейчас значительно возросло влияние региональных властей на принятие решений по проектам, реализация которых связана с постройкой объектов на территории региона. В США строго соблюдаются акты экологической защиты. При этом некоторые альтернативные варианты постройки трубопровода просто запрещаются. Так, был запрещен способ прокладки нефтепровода по насыпи из гравия на береговом шельфе из-за возможного отрицательного влияния на условия обитания рыб [13].

Отметим, что во всех трех практических задачах проводился поиск решения, учитывающего как интересы ЛПР, так и интересы активных групп. Такой поиск привел к изменению первоначальных альтернатив и к изобретению новых, приемлемых для всех участников процесса выбора.

Очевидно, что учет интересов активных групп не должен приводить ЛПР к отказу от собственных целей и предпочтений. Однако при предварительном анализе (до встречи с представителями активных групп) целесообразно осуществить поиск приемлемого для всех решения – стратегии, при которой все выигрывают [3].

Конечно, далеко не всегда можно найти такое решение. Часто ЛПР идет на дополнительные расходы, чтобы получить вариант решения, приемлемый для всех участников выбора [4]. Если такие расходы не являются чрезмерными для ЛПР, то следует помнить, что общая поддержка альтернативы означает быстрое проведение в жизнь принятого решения.

### **11. Многодисциплинарный характер науки о принятии решений**

Термин «принятие решений» встречается в различных научных дисциплинах. Прежде всего следует назвать экономику, где исследуются проблемы разумного, рационального использования ограниченных ресурсов потребителем (покупателем товаров) и производителем. Считается, что у людей есть «внутренние весы», на которых «взвешивается» привлекательность различных объектов – их полезность. Экономика определяет правила рационального поведения людей в задачах выбора [5].

Термин «принятие решений» активно используются в когнитивной психологии [6]. Психологи давно изучают особенности человеческой системы переработки информации. Рассматриваются гипотезы о том, как влияет организация человеческой памяти на процесс принятия решений. Психологи стремятся экспериментально определить границы человеческих возможностей в задачах выбора.

В такой науке как политология [3] одним из главных объектов изучения является механизм принятия лидерами политических решений.

«Принятие решений» – один из основополагающих терминов в научном направлении, известном под названием «исследование операций» [7]. Мы подробно обсудим вопрос о связи принятия решений и исследования операций в третьей лекции.

Принятие решений является одним из направлений прикладной математики [8]. Ставятся и решаются задачи обоснования свойств функции полезности в зависимости от тех или иных условий, накладываемых на правила выбора.

Слова «принятие решений» можно встретить и в зоологии [9], когда исследуются проблемы выбора, совершаемого живыми организмами: бабочками, птицами, рыбами, обезьянами и т.д.

Термин «решение проблем», весьма близкий по своему характеру к термину «принятие решений», является центральным для искусственного интеллекта [10]. В рамках этого направления создаются различные компьютерные системы, имитирующие поведение людей при решении тех или иных проблем.

В информатике и вычислительной технике в последнее время уделяется большое внимание построению систем поддержки принятия решений, помогающих человеку в задачах выбора [11].

Рассмотрение процессов и проблем принятия решений в различных научных дисциплинах вполне оправдано. Центральным для этих проблем является сам акт выбора человеком одного из вариантов решений. В отличие от других научных дисциплин в науке о принятии решений основным предметом является исследование процесса выбора. Эта наука изучает, как человек принимает решения и как следует ему в этом помогать, создавая специальные методы и компьютерные системы.

Итак, принятие решений — это прикладная научная дисциплина. Основную роль в ее развитии играют практики, помогающие людям в сложных задачах выбора. Создание методов принятия решений требует рассмотрения математических, психологических и компьютерных проблем. В связи с этим в развитии принятия решений как научного направления принимают участие математики, психологи, политологи, специалисты по искусственному интеллекту, теории организаций, информатике, вычислительной технике. Мы покажем в данной книге, что междисциплинарный характер во многом определяет специфику принятия решений как научного направления.

## Выводы

1. Принятие решений – это специфический, жизненно важный процесс человеческой деятельности, направленный на выбор наилучшего варианта действий.
2. В принятии решений принято различать следующие персональные позиции людей:
  - лицо, принимающее решения (ЛПР);
  - владелец проблемы;
  - участник активной группы;
  - избиратель;
  - член группы, принимающей согласованные решения;
  - эксперт;
  - консультант по принятию решений;
  - помощник ЛПР.
3. Варианты действий принято называть альтернативами; показатели привлекательности альтернатив называют критериями. Уровень привлекательности определяется оценкой по критерию.
4. В процессе принятия решений выделяют три этапа. Поиск информации, поиск альтернатив, выбор лучшей (или лучших) альтернатив.
5. Альтернативы, недоминируемые другими, принадлежат множеству Эджворта – Парето.
6. Традиционно принято выделять следующие задачи принятия решений:
  - упорядочение альтернатив, имеющих оценки по многим критериям;
  - классификация многокритериальных альтернатив;
  - выделение лучшей альтернативы.

## Список литературы

1. Simon H.A. The New Science of Management Decision. N. Y.: Harper and Row Publishers, 1960.
2. Осередько Ю.С., Ларичев О.И., Мечитов А.И. Исследование процесса выбора трассы магистрального трубопровода // Проблемы и процедуры принятия решений при многих критериях / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1982. № 6.
3. Naylor S.S. Public Policy: Goals, Means and Methods. Lanham: University Press of America, 1984.
4. Ларичев О.И., Браун Р.В. Количественный и вербальный анализ решений: сравнительное исследование возможностей и ограничений // Экономика и математические методы. 1998. № 4.
5. Нейман Дж. фои, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
6. Солсо Р.Л. Когнитивная психология. М.: Тривола, 1995.

7. **Вентцель Е.С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980.
8. **Фишберн П.** Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978.
9. **Тинберген Н.** Социальное поведение животных. М.: Мир, 1993.
10. **Саймон Г.** Науки об искусственном. М.: Мир, 1972.
11. **Ларичев О.И., Петровский А.Б.** Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1987.Т. 21.

## **Контрольное задание**

**Дайте определения следующих ключевых понятий:**

*Принятие решений*

*Лицо, принимающее решения (ЛПР)*

*Роли людей в процессах принятия решений*

*Активные группы*

*Индивидуальный выбор*

*Альтернативы*

*Критерии*

*Шкалы критериев*

*Процесс принятия решений, его этапы*

*Доминирующие и доминируемые альтернативы*

*Множество Эджворта–Парето (Э–П)*

*Типовые задачи принятия решений*

# **Аксиоматические теории рационального поведения**



... если бы мы все четко знали, мы были бы похожи на беспроигрышных игроков. Мы были бы людьми, имеющими гарантии во всем, от нас не требовалось бы смелости идти навстречу неведомому.

**А. Мень.** Радостная весть



## **ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ**

### **Университет Власти в Монтландии**

(Статья в правительственной газете «Олон-Пост», выходящей в столице Монтландии – Олоне)

Один из самых влиятельных финансистов Монтландии, глубокоуважаемый г-н Г. Карлос, снискавший известность своими смелыми проектами, выступил с очередным сенсационным заявлением: им учреждается Университет Власти.

«Наш старый мир – утверждает автор проекта, – стремительно эволюционирует в непредсказуемом направлении, разрушаются привычные взаимосвязи и созревают невиданные прежде формы сосуществования и взаимной ответственности. Научные открытия, обогатившие человеческую цивилизацию, неизменно изменили и климат, и самое лицо нашей планеты. С другой стороны, межнациональные конфликты, войны, голод и эпидемии в слаборазвитых странах представляются почти неизбежными. Да, Монтландия – пока еще процветающая и могущественная страна, но она не сможет отгородиться от грозящего мировому сообществу хаоса, спасение от которого только в единении всех разумных сил, в отказе от Национального эгоизма, в создании мирового правительства.

Многие политические деятели нашей страны недостаточно образованы, не понимают всей сложности современного мира, думают только о том, как угодить избирателям. Завороженные могуществом государства, высоким стандартом жизни, они не замечают признаков упадка, заката современной цивилизации.

Чтобы устоять перед неумолимо накатывающимися волнами хаоса, понадобятся государственные лидеры новой формации, подготовленные к решению проблем, немислимых в прежние времена. Для воспитания именно таких политиков я создаю новый университет, строительство которого уже заканчивается».

Наш корреспондент побывал в этом университетском городке, в его аудиториях, громадном библиотечном корпусе, суперсовременных компьютерных классах и узнал, как и чему будут учить в Университете.

Предметом обучения в нем станут все естественные науки (от математики до генетики), а также гуманитарные науки: психология, экономика, политология, социология и история. Предусмотрены курсы лекций по философии, по истории расцвета и гибели цивилизаций, по истории духовной жизни человечества, включая историю зарождения и развития религий.

Но главный дидактический стержень – обучение теории и современным научным методам принятия решений. Развитие навыков принятия решений будет подкреплено усвоением трудного искусства человеческого общения – умения слушать и убеждать, предотвращать и разрешать конфликты (межпартийные, межгосударственные, межнациональные и др.), рационально воздействовать на общественное мнение.

Итак, Университет Власти готов открыть свои двери, уже приглашены профессора мирового уровня и выдающиеся политические деятели, закончен набор первой группы студентов. Это молодые люди с высшим образованием и опытом практической работы; отбирались они по критериям, изложенным самим г-ном Карлосом и включавшим одаренность, бескорыстие, активную жизненную позицию, желание учиться и самосовершенствоваться и т.д. Будем надеяться на успех нового проекта г-на Карлоса.

### **Можно ли научить искусству вершить историю?**

(Статья в оппозиционной газете «Вечерний наблюдатель», выходящей в столице Монтландии – Олоне)

Г-н Карлос, известный мультимиллионер и валютный спекулянт, снова в центре внимания средств массовой информации. На этот раз он открывает некую фантастическую школу президентов, лидеров партий и министров, так называемый Университет Власти. По замыслу автора проекта, молодые люди смогут пройти курс всех современных наук и научиться принимать мудрые государственные решения. На наш взгляд, идея эта не только невыполнима, но и абсурдна.

Необходимые для политического лидера интуицию, умение быстро оценивать ситуацию и принимать верные решения невозможно приобрести, сидя за партой. Старая, как мир, истина об озарении в судьбоносные минуты сильного и всеведущего Отца нации, о божественной интуиции, необъяснимой с точки зрения науки, – эта истина неведома г-ну Карлосу.

Напротив, он, видимо, уверен, что решения, принятые по интуиции, без использования современных технологий управления, таят в себе реальную опасность и чреваты роковыми ошибками. Он считает, что только человек образованный и свободно владеющий научными методами управления, способный просчитать все последствия своих решений, только такая личность может привести народы к благоденствию.

Несмотря на амбициозность очередного проекта, увидим в нем и пользу: вложение средств в еще одно учебное заведение нашей страны, особенно если предметом обучения в нем будут такие устоявшиеся науки, как экономика, политология и др.

Что касается студентов Университета Власти – это самоуверенная и развязная молодежь, для которой не существует общепризнанных авторитетов. Среди них обращает на себя внимание молодой человек с интересной биографией: это бедный эмигрант из соседней Свапландии, племянник нынешнего короля. Юноша был выдворен с Родины десять лет тому назад в связи с участием в политической оппозиции. Кажется, молодой человек не лишен способностей. Может быть, его не следовало бы принимать в Университет Власти: ведь истории известны и образованные тираны. И кто сегодня знает, что будет с этой дремучей страной, от которой мы, к счастью, отгорожены электронным коридором?

## Лекция 2

# АКСИОМАТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ

### 1. Рациональный выбор в экономике

Как мы постараемся показать в этой книге, знание методов принятия решений необходимо при анализе различных задач выбора.

Задача выбора является одной из центральных в экономике [1, 2]. Два основных действующих лица в экономике — покупатель и производитель — постоянно вовлечены в процессы выбора. Потребитель решает, что покупать и за какую цену. Производитель решает, во что вкладывать капитал, какие товары следует производить.

Одно из основных допущений экономической теории состоит в том, что человек делает рациональный выбор. Рациональный выбор означает предположение, что решение человека является результатом *упорядоченного* процесса мышления. Слово «упорядоченный» определяется экономистами в строгой математической форме. Вводится ряд предположений о поведении человека, которые называются аксиомами рационального поведения. Впервые такие аксиомы приведены в [1].

При условии, что эти аксиомы справедливы, доказывается теорема о существовании некой функции, устанавливающей человеческий выбор, — функции полезности. *Полезностью* называют величину, которую в процессе выбора максимизирует личность с рациональным экономическим мышлением. Можно сказать, что полезность — это воображаемая мера психологической и потребительской ценности различных благ.

С содержательной точки зрения делается предположение, что человек как бы взвешивает на некоторых «внутренних весах» различные альтернативы и выбирает из них ту, полезность которой больше.

Задачи принятия решений с рассмотрением полезностей и вероятностей событий были первыми, которые привлекли внимание исследователей. Постановка таких задач обычно заключается в следующем. Человек выбирает какие-то действия в мире, где на получаемый результат (исход) действия влияют

случайные события, неподвластные человеку. Но, имея некоторые знания о вероятностях этих событий, человек может рассчитать наиболее выгодную совокупность и очередность своих действий.

Отметим, что в данной постановке задачи варианты действий обычно не оцениваются по многим критериям. Таким образом, используется более простое их описание. Рассматривается не одно, а несколько последовательных действий, что позволяет построить так называемые «деревья решений» (см. далее).

Человек, который следует аксиомам рационального выбора, называется в экономике *рациональным человеком*.

## 2. Аксиомы рационального поведения

В [1] вводится пять аксиом и доказывается существование функции полезности. Дадим содержательное представление этих аксиом. Обозначим через  $x, y, z$  различные исходы (результаты) процесса выбора, а через  $p, q$  вероятности тех или иных исходов. Введем определение лотереи. *Лотереей* называется игра с двумя исходами: исходом  $x$ , получаемым с вероятностью  $p$ , и исходом  $y$ , получаемым с вероятностью  $1-p$  (рис. 2).

Примером лотереи является подбрасывание монеты. При этом, как известно, с вероятностью  $p=0,5$  выпадает орел или решка. Пусть  $x=\$10$  и  $y=-\$10$  (т. е. мы получаем  $\$10$  при выпадении орла и платим столько же при выпадении решки).

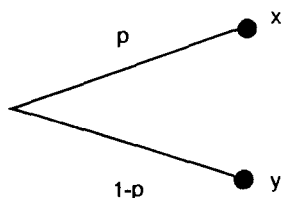


Рис. 2. Представление лотереи

Ожидаемая (или средняя) цена лотереи определяется по формуле  $px+(1-p)y$ .

Приведем аксиомы рационального выбора.

**Аксиома 1.** Исходы  $x, y, z$  принадлежат множеству  $A$  исходов.

**Аксиома 2.** Пусть  $R$  означает строгое предпочтение (похожее на отношение  $>$  в математике);  $R$  — нестрогое предпочтение (похожее на отношение  $\geq$ );  $I$  — безразличие (похожее на отношение  $=$ ). Ясно, что  $R$  включает  $P$  и  $I$ . Аксиома 2 требует выполнения двух условий:

1) связанности: либо  $xRy$ , либо  $yRx$ , либо то и другое вместе;

2) транзитивности: из  $xRy$  и  $yRz$  следует  $xRz$ .

**Аксиома 3.** Две представленные на рис. 3 лотереи находятся в отношении безразличия.

Справедливость этой аксиомы очевидна. Она записывается в стандартном виде как  $((x, p, y)q, y) I (x, pq, y)$ .

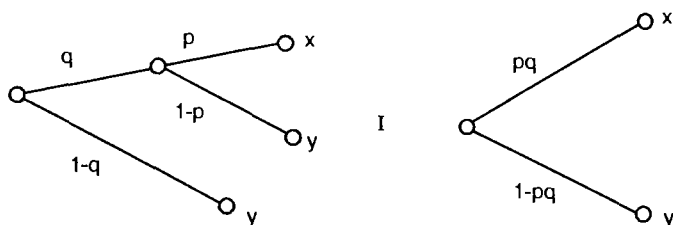


Рис. 3. Две лотереи, находящиеся в отношении безразличия

**Аксиома 4.** Если  $x I y$ , то  $(x, p, z) I (y, p, z)$ .

**Аксиома 5.** Если  $x P y$ , то  $x P(x, p, y) P y$ .

**Аксиома 6.** Если  $x P y P z$ , то существует вероятность  $p$ , такая что  $y I (x, p, z)$ .

Все приведенные выше аксиомы достаточно просты для понимания и кажутся очевидными.

В предположении, что они выполняются, была доказана следующая теорема [1]: если аксиомы 1–6 удовлетворяются, то существует численная функция  $U$ , определенная на  $A$  (множество исходов) и такая, что:

1)  $x R y$  тогда и только тогда, когда  $U(x) \geq U(y)$ ;

2)  $U(x, p, y) = pU(x) + (1-p)U(y)$ .

Функция  $U(x)$  измеряется на шкале интервалов (см. лекцию 1).

Функция  $U(x)$  – единственная с точностью до линейного преобразования (например, если  $U(x) \geq U(y)$ , то и  $aU(x) \geq aU(y)$ , где  $a$  – целое положительное число).

### 3. Задачи с вазами

Теория полезности экспериментально исследовалась в так называемых задачах с вазами (или урнами). Ваза – это непрозрачный сосуд, в котором находится определенное (известное лишь организатору эксперимента) количество шаров различного цвета. Задачи с вазами типичны для группы наиболее простых задач принятия решений – задач статистического типа. Для решения этих задач надо знать элементарные начала теории вероятностей

[4]. Человек делает выбор в этих задачах, основываясь на расчетах. Варианты действий выражены в наиболее простом виде.

Типовая задача для испытуемого может быть представлена следующим образом [3]. Перед испытуемым ставится ваза, которая может быть вазой 1-го или 2-го типа. Дается следующая информация: сколько имеется у экспериментатора ваз 1-го и 2-го типов; сколько черных и красных шаров в вазах 1-го и 2-го типов; какие выигрыши ожидают испытуемого, если он угадает, какого типа ваза; какие проигрыши ожидают его, если он ошибется. После получения такой информации испытуемый должен сделать выбор: назвать, к какому типу принадлежит поставленная перед ним ваза.

Пусть, например, экспериментатор случайно выбирает вазу для испытуемого из множества, содержащего 700 ваз 1-го типа и 300 ваз 2-го типа. Пусть в вазе 1-го типа содержится 6 красных шаров и 4 черных. В вазе 2-го типа содержится 3 красных и 7 черных шаров. Если перед испытуемым находится ваза 1-го типа и он угадает это, то получит выигрыш 350 денежных единиц (д. е.), если не угадает, его проигрыш составит 50 д. е. Если перед ним ваза 2-го типа и он это угадает, то получит выигрыш 500 д. е., если не угадает, его проигрыш составит 100 д. е. Испытуемый может предпринять одно из следующих действий:

$d_1$  — сказать, что ваза 1-го типа;

$d_2$  — сказать, что ваза 2-го типа.

Условия задачи можно представить в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Представление задачи с вазами*

Тип вазы	Вероятность выбора вазы данного типа	Выигрыш при действии	
		$d_1$	$d_2$
1	0,7	350	-100
2	0,3	-50	500

Что же делать человеку? Теория полезности отвечает: оценить среднюю (ожидаемую) полезность каждого из действий и выбрать действие с максимальной ожидаемой полезностью. В соответствии с этой рекомендацией мы можем определить среднее значение выигрыша для каждого из действий:

$$U(d_1) = 0,7 \otimes 350 - 0,3 \otimes 50 = 230 \text{ д.е.}$$

$$U(d_2) = 0,3 \otimes 500 - 0,7 \otimes 100 = 80 \text{ д.е.}$$

Следовательно, разумный человек выберет действие  $d_1$ , а не действие  $d_2$ .

Из этого примера следует общий рецепт действий для рационального человека: определить исходы, помножить их на соответствующие вероятности, получить ожидаемую полезность и выбрать действие с наибольшей полезностью.

Задачи с вазами помогут нам познакомиться с построением деревьев решений и принятием решений с их помощью.

#### 4. Деревья решений

Приведенная выше табл. 2 может быть представлена в виде дерева решений (рис. 4). На этом дереве квадратик означает место, где решение принимает человек, а светлый кружок — место, где все решает случай. На ветвях дерева написаны уже знакомые нам значения вероятностей, а справа у конечных ветвей — значения исходов (результаты).

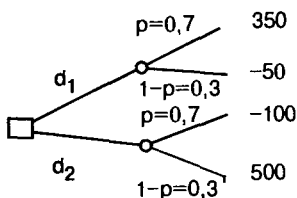


Рис. 4. Дерево решений

Для чего нужно дерево решений? Мы можем использовать его для представления своих возможных действий и для нахождения последовательности правильных решений, ведущих к максимальной ожидаемой полезности. Чтобы показать это, усложним задачу. Предоставим человеку, выбирающему между действиями  $d_1$  и  $d_2$ , дополнительные возможности. Пусть он может до своего ответа вытащить за определенную плату один шар из вазы, причем после вытаскивания шар кладется обратно в вазу. Плата за вытаскивание одного шара 60 д. е. Дерево решений с двумя его основными ветвями представлено на рис. 5. Вот теперь вопрос о том, какое решение следует принимать, стал сложнее: необходимо решить, стоит ли вынимать шар и какой

ответ дать после вытаскивания красного или черного шара. При принятии этих решений нам окажет существенную помощь известный в теории вероятностей [4] (и в теории статистических решений) способ подсчета изменения вероятностей событий после получения дополнительной информации.

Вернемся к описанию задачи. Вероятность вытащить красный шар из вазы 1-го типа  $p_k(B_1)=0,6$ , а из вазы 2-го типа  $p_k(B_2)=0,3$ . Зная все условные вероятности (зависящие от условия), а также вероятности  $p_1$  и  $p_2$  выбора ваз 1-го и 2-го типа (табл. 2), мы можем поставить следующие вопросы.

Первый вопрос: каковы вероятности вытащить красный и черный шары? Для ответа на этот вопрос произведем простые вычисления. Вероятность вытащить красный шар  $p_k(B_1)=0,7 \otimes 0,6=0,42$ , если ваза окажется 1-го типа,  $p_k(B_2)=0,3 \otimes 0,3=0,09$ , если ваза окажется 2-го типа. Следовательно, вероятность вытащить красный шар в общем случае  $p_k=0,51$ . Аналогичным образом можно посчитать, что вероятность вытащить черный шар  $p_q=0,49$ .

Второй вопрос более сложный. Пусть вытащенный шар оказался красным (черным). Какое действие следует выбрать:  $d_1$  или  $d_2$ ? Для ответа на этот вопрос нужно знать вероятности принадлежности ваз к 1-му и 2-му типам после получения дополнительной информации. Эти вероятности позволяет определить знаменитая формула Байеса [4].

Например, мы вытащили красный шар. Какова после этого вероятность того, что перед нами стоит ваза 1-го типа?

Приведем все обозначения вероятностей:

$p_k(B_1)$  — вероятность вытащить красный шар из вазы 1-го типа;

$p_q(B_1)$  — вероятность вытащить черный шар из вазы 1-го типа;

$p_k(B_2)$  — вероятность вытащить красный шар из вазы 2-го типа;

$p_q(B_2)$  — вероятность вытащить черный шар из вазы 2-го типа;

$p(B_1)$  — вероятность того, что ваза 1-го типа;

$p(B_2)$  — вероятность того, что ваза 2-го типа;



$p(B_{1/\kappa})$  – вероятность того, что ваза окажется 1-го типа после вытаскивания красного шара; -

$p(B_{1/\chi})$  – вероятность того, что ваза окажется 1-го типа после вытаскивания черного шара;

$p(B_{2/\kappa})$  – вероятность того, что ваза окажется 2-го типа после вытаскивания красного шара;

$p(B_{2/\chi})$  – вероятность того, что ваза окажется 2-го типа после вытаскивания черного шара.

Формула Байеса позволяет оценить  $p(B_{i/\kappa})$  и  $p(B_{i/\chi})$ , где  $i=1,2$ , используя все прочие вероятности. Например:

$$p(B_{1/\kappa}) = \frac{p_{\kappa}(B_1) \cdot p(B_1)}{p_{\kappa}(B_1) \cdot p(B_1) + p_{\kappa}(B_2) \cdot p(B_2)}.$$

Для нашей задачи:  $p(B_{1/\kappa})=0,82$ ;  $p(B_{1/\chi})=0,57$ ;  $p(B_{2/\kappa})=0,18$ ;  $p(B_{2/\chi})=0,43$ .

Теперь мы имеем всю информацию, необходимую для принятия решений.

На рис. 5 показаны две основные ветви дерева решений, причем верхняя просто повторяет дерево решений на рис. 4. Квадратик 1 слева соответствует первому решению – вытаскивать шар или нет. Случаю отказа от вытаскивания шара соответствует верхняя основная ветвь. Решению вытаскивать шар соответствует нижняя ветвь, начинающаяся со случайного события (кружок). В квадратах 2, 3, 4 принимаются решения о выборе одной из двух стратегий:  $d_1$  или  $d_2$ . Далее все решает случай (кружки).

Есть три простых правила выбора оптимальной (по критерию максимума ожидаемой полезности) последовательности решений на основе дерева решений:

- 1) идти от конечных ветвей дерева к его корню;
- 2) там, где есть случайность (кружок), находится среднее значение;
- 3) там, где есть этап принятия решений (квадратик), выбирается ветвь с наибольшей ожидаемой полезностью, а другая отсекается двумя черточками.

Применим эти правила к дереву решений, представленному на рис. 5. В результате получим дерево решений, показанное на рис. 6.

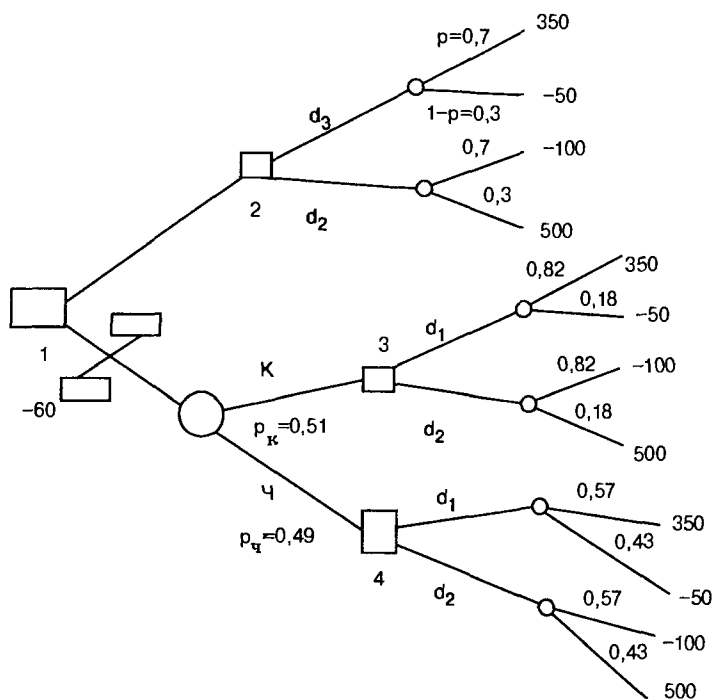


Рис. 5. Дерево решений

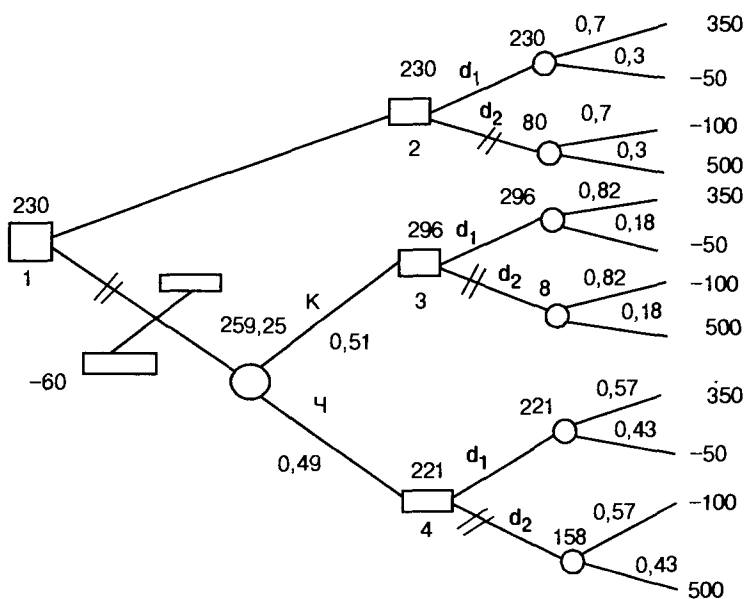


Рис. 6. «Сворачивание» дерева решений

На этом рисунке над кружками указаны средние значения полезности, двумя черточками отсечены ветви с меньшим значением ожидаемой полезности. Наилучший вариант действий: шар не вытаскивать и выбирать действие  $d_1$ . Этот вариант соответствует самому верхнему пути дерева решений на рис. 6. Такая процедура нахождения оптимального пути на деревьях решений получила название «сворачивания» дерева решений.

Деревья решений при заданных числовых значениях вероятностей и исходов позволяют осуществить выбор той стратегии (последовательности действий), при которой достигается наибольший выигрыш, т. е. достигается максимум функции полезности ЛПР.

## 5. Парадокс Алле

Возникает вопрос: нельзя ли заменить ЛПР автоматом и сохраняются ли при этом какие-то особенности человеческого поведения? Для ответа на этот вопрос приведем известный парадокс Алле [3] (предложенный французским ученым М.Алле), представленный двумя лотереями на рис.7.

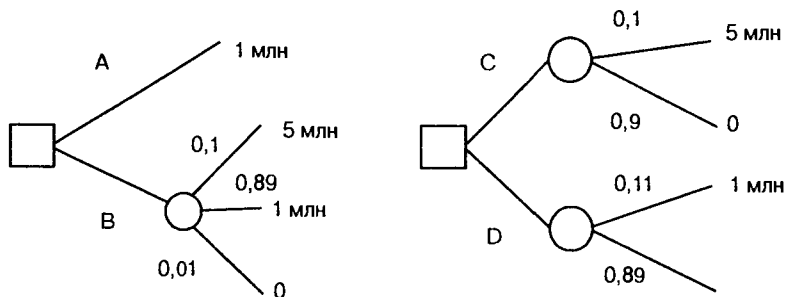


Рис. 7. Парадокс Алле

Обозначим:  $U(5 \text{ млн})=1$ ;  $U(1 \text{ млн})=U$ ;  $U(0)=0$ . В левой лотерее есть выбор между действиями А (получить 1 млн) и В (согласиться на лотерею). Подавляющее большинство людей предпочитает А. Из этого следует  $U > 0,1 \otimes 1 + 0,89 \otimes U$  или  $U > 10/11$ .

В правой лотерее есть выбор между действиями С и D (две лотереи). Подавляющее большинство людей предпочитает действие С (почти та же вероятность проиграть, но выигрыш больше). Тогда  $1 \otimes 0,1 > 0,11 \otimes U$ , т. е.  $U < 10/11$ . Совершая та-

кой выбор, люди действуют не в соответствии с функцией полезности.

Приведем еще один пример. Рассмотрим две лотереи, показанные на рис. 8. Легко убедиться в том, что средняя цена лотерей одинакова. Но это не означает, что людям безразлично, какую из них выбрать. Подчеркнем, что свобода выбора остается за ЛПР. Предъявление различным группам людей пар лотерей показало, что люди предпочитают правую лотерею, где при той же средней цене риск проигрыша исключен.

Как же можно объяснить такое поведение людей? Может быть, стоит усомниться в существовании функции полезности? Этот вопрос становится еще более существенным для задач принятия решений, в которых нет информации для объективного подсчета вероятностей. В таких задачах (а их гораздо больше, чем формальных задач с вазами) только эксперты могут дать значения вероятностей. Ясно, что эти значения субъективны. Потребовалось формальное обоснование теории полезности с субъективными вероятностями — теории субъективной ожидаемой полезности [5]. Она также построена аксиоматически.

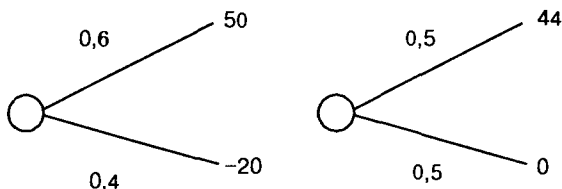


Рис. 8. Сравнение двух лотерей

Но и после построения этой теории остаются те же вопросы о причинах парадоксального поведения людей в задачах принятия решений, где в качестве метода выбора использовались деревья решений и максимизация субъективной ожидаемой полезности.

## 6. Нерациональное поведение. Эвристики и смещения

Значительную часть фундамента экономики как науки составляет теория полезности. И вдруг в 70-е годы появились работы, в которых систематически демонстрировалось отклонение поведения людей от рационального. Авторами наиболее известных работ были психологи: А.Тверский, П.Словик, Б.Фишхоф, Д.Канеман и др.

Приведем один из наиболее известных примеров нерационального поведения людей — «дилемму генерала» [6]. Генерал потерпел поражение в войне и хочет вывести свои войска (600 чел.) с территории противника. У него есть две возможные дороги, и разведка дала оценки возможных потерь при выборе каждой из них. Данные о дорогах и возможных потерях представлены на рис. 9.

Большинство людей, рассматривающих дилемму, показанную на рис. 9, выбирают первую дорогу, стараясь избежать лотереи, когда в одном из исходов погибает весь личный состав соединения. Но эта же дилемма была представлена испытуемым в ином виде (рис. 10). Теперь уже большинство испытуемых выбирает вторую дорогу, так как на ней с вероятностью  $p=1/3$  можно спасти все соединение. Легко увидеть, что лотереи на рис. 9 и 10 эквивалентны, но одна из них представлена в виде выигрышей, а другая — в виде потерь.

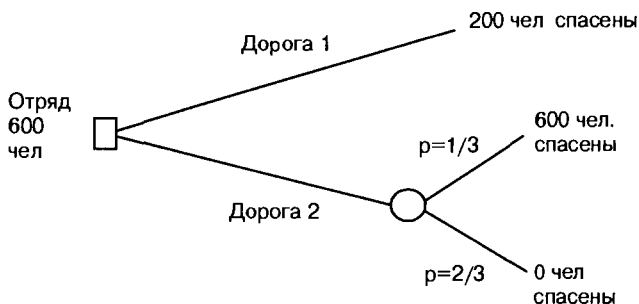


Рис. 9. Дилемма генерала

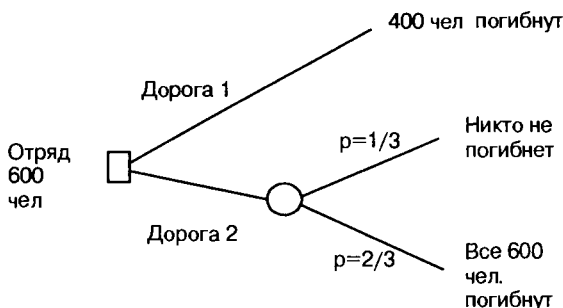


Рис. 10. Иное представление дилеммы генерала

Многочисленные эксперименты продемонстрировали отклонение поведения людей от рационального, определили эвристики, которые используются при принятии решений. Дадим перечень наиболее известных эвристик [7].

*Суждение по представительности.* Люди часто судят о вероятности того, что объект А принадлежит к классу В только по схожести А на типовой объект класса В. Они почти не учитывают априорные вероятности, влияющие на эту принадлежность. В одном из опытов испытуемым дали краткие описания субъектов из группы в составе 100 человек и попросили определить вероятности того, что рассматриваемый субъект является юристом или инженером при условиях: 1) в группе 70 инженеров и 30 юристов; 2) в группе 30 инженеров и 70 юристов. Ответы были примерно одинаковы. В других экспериментах было показано, что люди ориентируются только на представительство, не учитывая даже размер выборки, по которой выносится суждение.

*Суждение по встречаемости.* Люди часто определяют вероятности событий по тому, как часто они сами сталкивались с этими событиями и насколько важными для них были эти встречи. Так, в одном из опытов испытуемые оценили вероятности нахождения буквы «к» в английских словах на первом и третьем месте. Большинству людей было легче вспомнить слова с буквой «к» на первом месте, и они определили соответствующую вероятность как большую, хотя в действительности справедливо обратное (на третьем месте буква «к» встречается значительно чаще). Тверский и Канеман отмечают, что многие люди, видимо, верят в «закон малых чисел», утверждающий, что малая выборка хорошо характеризует все множество.

*Суждение по точке отсчета.* Если при определении вероятностей используется начальная информация как точка отсчета, то она существенно влияет на результат. Так, при оценках вероятностей событий группам людей давали завышенные и заниженные начальные значения и просили их скорректировать. Средние по группам ответы существенно различались.

*Сверхдоверие.* В экспериментах было показано, что люди чрезмерно доверяют своим суждениям, особенно в случаях, когда они выносят суждение о прошлых событиях. Люди переоценивали

свои суждения о вероятностях редких явлений природы, о вероятностях изменений курса акций на бирже и т. д. Они были настолько уверены в своих суждениях, что рисковали определенными суммами денег.

*Стремление к исключению риска.* Многочисленные работы показывают, что как в экспериментах, так и в реальных ситуациях люди стремятся исключить ситуации, связанные с риском. Они соглашались на средние (и хуже средних) альтернативы, только чтобы не возникли ситуации, где хотя бы при очень малых вероятностях возможны большие потери.

## **7. Объяснения отклонений от рационального поведения**

Реакция экономистов на результаты психологических исследований была неоднозначной. Приверженцы теории субъективной ожидаемой полезности утверждали, что иррациональность человеческого поведения является кажущейся, так как неправильно сформулирован критерий, который человек стремится оптимизировать. Действительно, если результат выбора известен, то почти всегда можно подобрать критерий, с точки зрения которого этот выбор является оптимальным. Если принять такую точку зрения, то теория субъективной ожидаемой полезности скорее позволяет объяснить выбор, чем предсказать его [8].

Признание иррациональности человеческого поведения привело к поиску его причин. Среди этих причин называют [9]:

- 1) недостаток информации у ЛПР в процессе выбора;
- 2) недостаточный опыт ЛПР: он находится в процессе обучения и поэтому меняет свои предпочтения;
- 3) ЛПР стремится найти решение, оптимальное с точки зрения совокупности критериев (целей), строго упорядоченных по важности, но не может его найти;
- 4) различие между объективно требуемым временем для реализации планов и субъективным горизонтом планирования ЛПР.

## **8. Должны ли экономисты принимать во внимание отклонения поведения людей от рационального ?**

Возникает вопрос, всегда ли и насколько необходимо учитывать иррациональность поведения людей в задачах экономического выбора?

Одной из важнейших в экономике задач является задача предсказания поведения потребителя по отношению к конкретным группам товаров или услуг. Знание такого поведения позволяет определить спрос на товар (услугу), подсчитать, сколько нужно производить товаров (услуг) и по какой цене их можно продавать.

Экономисты различают *наблюдаемые предпочтения* и *выявляемые предпочтения* потребителей. Наблюдаемые предпочтения определяются на основе изучения данных о покупках и продажах. Строятся математические модели, описывающие спрос покупателей на определенные товары (услуги). Такие модели позволяют предсказать поведение покупателей по отношению к данному товару (услуге) или близким к нему [10].

Знание человеческого поведения, человеческих эвристик не дает ничего нового при определении наблюдаемых предпочтений. Действительно, пусть поведение потребителей отличается от рационального — модель опишет такой вид поведения по наблюдаемому выбору. Ее прогностические способности не изменятся. Пусть, например, известно, что выбор отдельным покупателем сорта чая осуществляется нерационально. Но для производителей чая важны лишь данные о спросе на тот или иной сорт чая для большой группы покупателей (жителей города, области и т.д.). Зависимость спроса на чай от его цены определяется для группы в целом, и на нее мало влияет, насколько рациональны люди при покупке чая.

По-иному обстоит дело с выявляемыми предпочтениями, когда требуется предсказать спрос на основе опроса (мнений) потребителей еще до их выбора. Ясно, что результаты психологических исследований имеют непосредственное и весьма важное значение при выявлении предпочтений потребителей. Для получения надежных данных на основе выявляемых предпочтений необходимо строить опросы с учетом мыслимых человеческих эвристик [10]. Особое значение имеет форма постановки вопросов, возможные влияния точки отсчета, феномен сверхуверенности и т.д.

При анализе решений производителей товаров (и услуг) знание нерационального человеческого поведения также весьма важно. Правда, существует мнение [11], что рынок приучает к



рациональности, что значительные отклонения от рациональности могут привести к разорению ЛПР. Однако это не позволяет определить, насколько успешно такое обучение.

Стремление учесть реальное поведение людей и приблизить теорию к жизни привело к появлению теории проспектов, разработанной А. Тверским и Д. Канеманом [12, 13].

## 9. Теория проспектов

Теория проспектов была разработана для того, чтобы учесть реальные черты человеческого поведения в задачах с субъективными вероятностными оценками. Ставилась цель заменить теорию ожидаемой полезности в качестве средства, позволяющего человеку выбирать предпочтительные варианты действий.

Теория проспектов позволяет учесть три поведенческих эффекта:

- 1) эффект определенности, т.е. тенденцию придавать больший вес детерминированным исходам;
- 2) эффект отражения, т.е. тенденцию к изменению предпочтений при переходе от выигрышей к потерям;
- 3) эффект изоляции, т.е. тенденцию к упрощению выбора путем исключения общих компонентов вариантов решений.

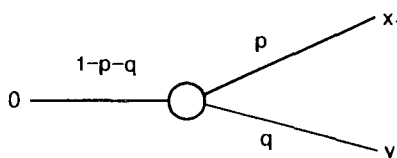


Рис. 11. Представление проспекта

Рассмотрим игру  $(x, p, y, q)$ , где исход  $x$  осуществляется с вероятностью  $p$ , исход  $y$  — с вероятностью  $q$ , а нулевой исход — с вероятностью  $1-p-q$  (рис. 11). В теории проспектов игра, представленная на рис. 11, называется проспектом. Оценивается ценность (а не ожидаемая полезность) этой игры по следующей формуле:

$$V = V(x) \otimes \Pi(p) + V(y) \otimes \Pi(q),$$

где  $V(x)$ ,  $V(y)$  — ценность исходов  $x$ ,  $y$  соответственно,  $V(0)=0$  и  $\Pi(p)$ ,  $\Pi(q)$  — вес (важность) вероятностей  $p$ ,  $q$  соответственно.

Мы видим первое отличие теории проспектов: вместо вероятностей используется функция от вероятностей.

Проанализируем другие отличия теории проспектов от теории полезности. Во-первых, полезность в теории полезности определялась как прибавление (может быть, и отрицательное) к первоначальному благосостоянию человека. Ценность же отсчитывается от любого уровня, принятого за исходный. Во-вторых, предполагается (для учета поведенческих аспектов), что функция  $V(x)$  ценности – выпуклая для выигрышей и вогнутая для потерь (рис. 12), причем ее наклон для потерь будет более крупным, чем для выигрышей.

Важное различие двух теорий состоит в учете вероятностей исходов. Если в теории полезности вероятность умножается на полезность исхода, то в теории проспектов используется функция вероятности  $\Pi(p)$ , представленная на рис. 13. Эта функция

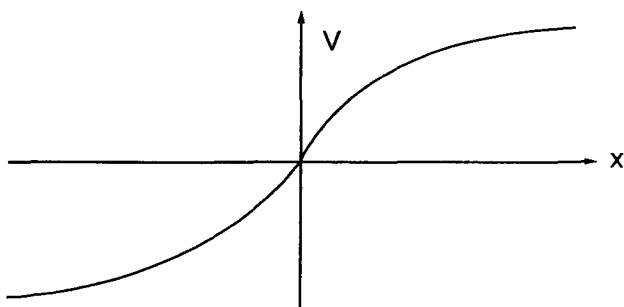


Рис. 12. Функция ценности

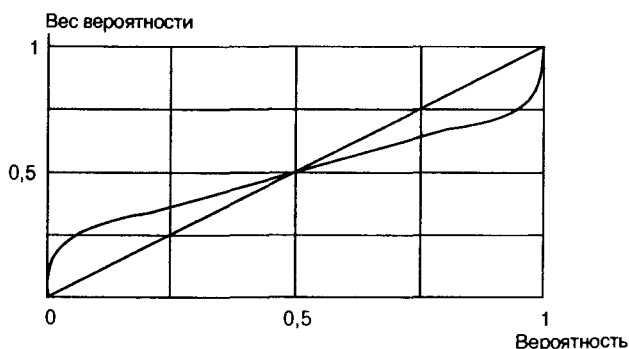


Рис. 13. Весовая функция вероятности

также построена специальным образом для учета поведенческих аспектов. Прежде всего  $\Pi(p)$  не подчиняется законам теории вероятностей. Отметим следующие свойства  $\Pi(p)$ :

- 1)  $\Pi(0)=0, \Pi(1)=1$ ;
- 2)  $\Pi(p)+\Pi(1-p) < 1$ ;
- 3) при малых вероятностях  $\Pi(p) > p$ ;
- 4) отношение  $\Pi(p)/\Pi(q)$  ближе к 1 при малых вероятностях, чем при больших;

5)  $\Pi(p)$  плохо определена у крайних значений. Теперь мы можем привести последовательность этапов, рекомендуемую при применении теории проспектов для выбора между различными вариантами действий.

1. Осуществляется редактирование проспекта; этап определен достаточно неформально. В него входит следующее:

- выбирается опорная точка;
- одинаковые исходы объединяются, и их вероятности суммируются;
- одинаковые исходы с равными вероятностями в сравниваемых играх удаляются;
- доминируемые исходы удаляются;
- округляются значения ценностей и вероятностей.

2. Подсчитываются значения ценности для разных вариантов действий по формуле, приведенной выше, после чего выбирается вариант с наибольшей ценностью.

## 10. Теория проспектов и парадокс Алле

Применим теорию проспектов для анализа парадокса Алле (см. рис.7). Из левой лотереи следует:

$$U > 1 \otimes \Pi(0,1) + U \otimes \Pi(0,89)$$

или

$$U > \frac{\Pi(0,1)}{1-\Pi(0,89)}.$$

Из правой лотереи следует

$$\Pi(0,1) > U \otimes \Pi(0,11)$$

или

$$\frac{\Pi(0,1)}{\Pi(0,11)} > U.$$

Нетрудно убедиться, что из перечисленных выше пяти свойств функции  $\Pi(p)$  вытекает возможность выполнения неравенств

$$\frac{\Pi(0,1)}{\Pi(0,11)} > U > \frac{\Pi(0,1)}{1-\Pi(0,89)},$$

так как  $1-\Pi(0,89) > \Pi(0,11)$  и  $1 > \Pi(0,11) + \Pi(0,89)$ . Следовательно, теория проспектов позволяет избежать парадокса Алле.

## 11. Новые парадоксы

Означает ли это, что теория проспектов дает возможность разрешить все противоречия между нормативной теорией, предписывающей нормы рационального поведения, и особенностями реального поведения людей? К сожалению, нет. Недостаточно формальный характер описанной выше процедуры редактирования проспекта допускает неоднозначное толкование и применение противоречивых эвристик. Приведем следующий пример [14].

Пусть необходимо сделать выбор между двумя лотереями:

$$R = (\$100, 0,5; \$51, 0,25) \text{ и } S = (\$101, 0,5; \$50, 0,3).$$

Если мы округлим \$101 до \$100, то первые части лотереи идентичны, и остается выбор между оставшимися частями. Здесь более естественным представляется округление вероятности в  $R$  до 0,3, и тогда лотерея  $R$  является более предпочтительной (\$51 против \$50). Если же мы начнем со второй части лотерей, причем округлим как вероятность, так и полезность, то  $S$  становится более предпочтительной.

Найдено уже немало примеров, в которых процедуры редактирования проспектов приводят к противоречиям. Несмотря на это, теория проспектов является интересной аксиоматической теорией, стремящейся объединить дескриптивное знание о поведении людей и нормативные правила их рационального поведения.

## Выводы

1. Задача принятия решений является одной из центральных в экономике. Предполагается, что лицо, принимающее решение, является рациональным человеком и его решения есть резуль-

тат упорядоченного процесса мышления. На основе аксиом рациональности доказывается теорема о существовании функции полезности. Осуществляя выбор, рациональный человек максимизирует свою функцию полезности.

2. Наиболее простыми задачами принятия решений являются задачи с вазами. Выбор оптимального решения во многих задачах осуществляется построением деревьев решений. Дерево решений представляет все возможные варианты действий ЛПР. Для нахождения оптимального варианта используется метод «сворачивания» дерева.
3. Психологи и экономисты обнаружили ряд парадоксов, демонстрирующих, что поведение людей отличается от рационального. Были найдены многочисленные эвристики, используемые людьми при принятии решений. Нерациональность человека является общепризнанным фактом, который должен учитываться при анализе решений.
4. Теория проспектов построена с целью разрешения противоречий между наблюдаемым поведением ЛПР и требованиями рациональности. Теория проспектов учитывает многие поведенческие эффекты и позволяет устранить ряд парадоксов, возникающих при применении теории полезности.

### Список литературы

1. **Нейман Дж. фон, Моргенштерн О.** Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
2. **Самуэльсон П.** Экономика. Вводный курс. М.: Прогресс, 1964.
3. **Райфа Г.** Анализ решений. М.: Наука, 1977.
4. **Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я.** Элементарное введение в теорию вероятностей. М.: Наука, 1982.
5. **Savage L.J.** The Foundations of Statistics. N. Y.: Wiley, 1954.
6. **McKean K.** Decisions, Decisions // Discover. June 1985.
7. **Kahneman D., Slovic P., Tversky A. (Eds.)** Judgment under uncertainty : Heuristics and Biases. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
8. **Финшхоф Б., Гойтейн Б., Шапиро З.** Субъективная ожидаемая полезность: модель принятия решений // Процедуры оценивания многокритериальных объектов: Сб. тр. ВНИИСИ / Под. ред. О. И. Ларичева. М., 1984. № 9.
9. **Day R.H.** Rational Choice and Economic Behavior // Theory and Decision. 1997. № 1.
10. **Garling T., Axhausen K., Brydsten M.** Travel choice and the goal process utility distinction // Applied Cognitive Psychology. 1996. № 10.
11. **Russell T., Taylor R.** The Relevance of Quasi-Rationality in Competitive Markets. In: D.Bell, H.Raiffa, A. Tversky (Eds.) Decision Making : Descriptive, Normative and Prescriptive Interactions. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
12. **Kahneman D., Tversky A.** Prospect Theory: an Analysis of Decisions under Risk // Econometrica. 1979. № 47.

13. **Currim I. S., R. K. Sarin.** Prospect versus Utility // Management science. 35. № 1 (1989).
14. **Wu. G.** Editing and Prospect Theory: Ordinal Independence and Outcome Cancellation // Working Paper of Harvard Business School, 1993.

### **Контрольное задание**

**Дайте определения следующих ключевых понятий:**

*Рациональный выбор*

*Теория полезности*

*Лотерея*

*Задачи с вазами*

*Действия и выигрыши*

*Теорема Байеса*

*Деревья решений*

*Сворачивание дерева решений*

*Парадокс Алле*

*Эвристики и смещения*

*Дилемма генерала*

*Наблюдаемые и выявляемые предпочтения*

*Теория проспектов*

*Весовая функция вероятности*

# Многокритериальные решения при объективных моделях



*Нечего надеяться полностью избавиться от субъективности в задачах, связанных с выбором решений. Даже в простейших однокритериальных задачах она неизбежно присутствует, проявляясь хотя бы в выборе показателя эффективности и математической модели явления.*

***Е. С. Вентцель.*** Исследование операций



## **ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ**

### **Компьютерная игра в Университете Власти**

«Сегодня мы начинаем трехдневную компьютерную игру», – обратился к аудитории очередной лектор, положив руку на стоявший рядом монитор.

С пристальной сосредоточенностью слушали его студенты, выглядывая из-за серых кубов компьютеров, рядом с которыми лежали на столах шлемы.

«В этой игре вы будете управлять страной. В компьютеры уже введены модели, описывающие разные страны. Например, для эмигранта из Свапландии подготовлена компьютерная модель его страны

В моделях описаны в математическом виде промышленность и сельское хозяйство. В них учтены все товары, которые производятся в стране и которые ввозятся из-за границы, и все магазины, где продаются эти товары. Смоделированы рудники, шахты и нефтяные скважины. Но этого мало. В наших моделях, самых совершенных в мире, смоделированы и люди с их психологией, с их национальным характером, с различными типами поведения; представлены все слои общества. Люди живут, работают, женятся, заводят детей, но все это происходит в быстром для нас с вами времени – компьютерном. Вы тоже будете жить в искусственном компьютерном мире – как бы в одной из стран издавать законы, организовывать выборы в парламент, подбирать себе помощников и т.д. Вы сможете выступать на митингах, встречаться с людьми, вступать с ними в контакты.

Когда вы наденете шлемы и включите компьютеры, вы погрузитесь в этот компьютерный мир. Это будет ваш мир, у вас будет возможность влиять на все события в той степени, в какой позволит уровень социального и технического развития предложенной вам страны.

От ваших действий будет зависеть многое. Можно будет задушить промышленность налогами, что приведет к безработице, общему недовольству и даже к гражданской войне. Или, напротив, вы сможете, создав новые правила экономической жизни, вызвать экономический рост, процветание и способствовать появлению новых талантливых лидеров. А столкнувшись с инфляцией, вы сможете выбрать те меры борьбы с ней, которые обсуждались на занятиях по экономике: от самых простых (контроль за эмиссией денег) до глубоко разработанной монетарной политики. Но если не добьетесь успеха в проводимых реформах, вы сами увидите последствия ваших неудачных решений: рост числа безработных и нищих на улицах столицы, лица голодных детей.

Это сложная игра, и один из ее этапов – решение задачи выбора политики экономических преобразований. Вы можете или

плыть по течению времени и ничего не менять, или, непродуманно изменив курс, потерпеть полный крах. Успеха вы сможете достичь только на основе понимания условий задачи, которая предложена вам неделю назад в виде описания ситуации в условном компьютерном мире. В модели заложены условия, когда успех возможен. Успех, возможно, неполный, как это и бывает в реальной жизни.

Например, в вашей стране возрастет уровень жизни, но усилится коррупция и пошатнутся моральные устои общества (опустеют церкви, возрастет число уголовных преступлений). Либо магазины будут ломиться от импортных товаров, а промышленность придет в упадок. Это лишь примеры. Вы должны будете сами оценить, к чему стремиться и чем пожертвовать.

Вам дается три дня для управления страной в компьютерной реальности. За это время ваша страна проживет сто лет. Через три дня комиссией будут оценены ваши успех или неудача по тому состоянию, в которое вы приведете «свою» страну. Три дня потому, что жизнь в этом компьютерном мире небезопасна для здоровья и может отрицательно повлиять на нервную систему.

Мы проведем детальный анализ ваших результатов. Повторная игра состоится только в конце обучения».

Студент Университета Власти, бывший гражданин Свапландии, вздохнув, надел шлем с проводами, щелкнул тумблером и очутился в городе Санкте. Он стоял на знакомой с детства площади, у высоких стен королевского дворца – молодой Король, окруженный свитой.

# Лекция 3

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ОБЪЕКТИВНЫХ МОДЕЛЯХ

### 1. Модели

В волшебной стране Монтландии студенты Университета Власти обучались на моделях, описывающих весь мир: поведение людей, производственные системы, социальные отношения и даже революции. Сколько-либо надежных моделей такого типа пока не существует. Но известны другие, весьма точные и полезные модели.

Физик, описывающий уравнениями состояние газа в закрытой камере, создает математическую модель процесса. Экономист, отвечающий за перевозку товаров от заводов-изготовителей к магазинам, также разрабатывает модель: он берет данные о производительности заводов, о потребностях магазинов, о стоимости перевозок и составляет уравнения и неравенства. Решая их, экономист строит наилучший план перевозок.

В приведенных выше примерах люди разрабатывают модель определенного объекта, стремясь представить в виде описания копию реального мира. Целями создания модели являются обычно: использование ее в решении задач, которые трудно решать на реальном объекте; лучшее понимание объекта; построение улучшенного объекта путем внесения изменений в модель. Естественным требованием к модели является ее идентичность с объектом. Мы изучаем внешний мир, создавая модели. Мы улучшаем искусственные системы, используя их модели. В обоих случаях роль моделей чрезвычайно велика.

Необходимо подчеркнуть отличие модели, которую в приведенном выше примере строит экономист, от физических моделей. Модель экономиста описывает процессы, в которых важную роль играют люди: рабочие на заводах, продавцы в магазинах, водители грузовиков. Совершаемые ими действия и их результаты находят отражения в модели. Как мы знаем, в жизни человеческое поведение в значительной степени непредсказуемо и сложно для моделирования. Однако в нашем примере предполагается, что люди лишь выполняют действия, предписанные им производственной системой. Иначе говоря, люди

не имеют свободы поведения — такое предположение делается при построении многих моделей организаций и производственных систем.

## 2. Подход исследования операций

Модели, описывающие поведение людей, активно используются в исследовании операций. Исследование операций — сложившаяся научная дисциплина, хорошо известная в современном мире. Как определяет Е. С. Вентцель [1], под исследованием операций понимают применение математических, количественных методов для обоснования решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности.

Основными этапами решения любой задачи в исследовании операций являются:

- 1) построение модели;
- 2) выбор критерия оптимальности;
- 3) нахождение оптимального решения.

Для подхода исследования операций характерны следующие особенности.

1. *Используемые модели носят объективный характер.* Построение моделей рассматривается в рамках исследования операций как средство отражения объективно существующей реальности. Когда модель, правильно отражающая действительность, найдена, критерий оптимальности установлен, оптимальное решение может быть получено единственно возможным образом. «Другими словами, опираясь на одни и те же данные, различные специалисты-аналитики должны получать одинаковые результаты» [2]. Это требование, предложенное Г. Вагнером, весьма примечательно. Оно определяет, что деятельность людей, описываемая моделью, подчинена требованиям целесообразности.

2. *Руководитель получает научно обоснованное решение.* По заказу руководителя аналитик исследует организацию, внешнюю среду и пытается построить адекватную модель. В этой работе сам ЛПР чаще всего не нужен. В описании многочисленных случаев применения методов исследования операций [2] подчеркивается, что группа аналитиков самостоятельно находит удачное решение. Конечно, иногда руководитель дает дополнительную информацию. Но его роль при этом не отличает-

ся от роли любого сотрудника организации. Можно сказать, что руководитель дает заказ и получает готовое решение. Все остальное делают аналитики-специалисты по исследованию операций. В общем случае заказ руководителя может быть сформулирован в следующем виде: найти наилучшее (оптимальное), единственно верное и научно обоснованное решение. Давая такой заказ, руководитель находится в достаточно удобном положении: он полагается на силу научного подхода.

3. *Существует объективный критерий успехов в применении методов исследования операций.* Если проблема, требующая решения, ясна и критерий определен, то аналитический метод сразу показывает, насколько новое решение лучше старого. Оптимальное решение проблемы бессмысленно оспаривать.

Опишем две классические задачи исследования операций.

Первая из них получила название обобщенной транспортной задачи [2]. Пусть имеется большая авиакомпания, перевозящая пассажиров по различным маршрутам. Руководство компании определяет, какие самолеты (по вместительности) и сколько самолетов должны обслуживать различные маршруты. Считается, что известны потоки пассажиров между разными городами и общее число имеющихся самолетов различного типа. Требуется распределить самолеты по маршрутам так, чтобы минимизировать расходы на их обслуживание.

Вторая задача получила название *задачи о назначениях*. Предполагается, что необходимо распределить заданное число работ среди исполнителей так, чтобы каждый исполнитель выполнял одну работу. Стоимость выполнения каждой из работ каждым исполнителем известна. Нужно распределить работы так, чтобы суммарная стоимость их выполнения была минимальной.

Словесному описанию этих двух задач соответствует четкое математическое описание [2], представляющее собой математическую модель.

### 3. Появление многокритериальности

При широком применении методов исследования операций аналитики стали сталкиваться с задачами, где имеется не один, а несколько критериев оценки качества решения.

Рассмотрим описанную выше обобщенную транспортную задачу. Добавим к критерию минимальных расходов на обслуживание самолетов вполне естественные критерии максимума прибыли и максимума комфорта для пассажиров. Если есть три критерия, то необходимо согласовать их. Какое соотношение между оценками по критериям является наилучшим? Ответ на этот вопрос не определен условиями задачи. Нужна дополнительная информация, которая может быть получена только от руководства авиакомпании.

Обратимся теперь к задаче о назначениях. Возьмем часто встречающийся случай, когда работы неодинаковы по своей важности, а исполнители различаются по качеству выполняемой работы [3]. Тогда к приведенному выше критерию минимальной стоимости можно добавить критерий качественного выполнения наиболее важных работ. Если есть уже два критерия, по которым следует оценивать качество распределения исполнителей по работам, то необходимо как-то согласовать их. Какое отклонение от минимума стоимости оправдывает высококачественное выполнение важных работ? Ответ на этот вопрос не вытекает из сформированной модели. Этот ответ вообще не может быть получен объективным образом. Информация о компромиссе может быть дана людьми, принимающими решения, на основе их опыта и интуиции.

Эти и многие им подобные задачи имеют следующую характерную особенность: модель, описывающая множество допустимых решений, объективна, но качество решения оценивается по многим критериям. Для выбора наилучшего варианта решения необходим компромисс между оценками по различным критериям. В условиях задачи отсутствует информация, позволяющая найти такой компромисс. Следовательно, он не может быть определен на основе объективных расчетов.

Анализ многих реальных практических проблем, с которыми сталкивались специалисты по исследованию операций, естественным образом привел к появлению класса многокритериальных задач.

При появлении многих критериев задачи выбора наилучшего решения имеют следующие особенности.

- Задача имеет уникальный, новый характер — нет статистических данных, позволяющих обосновать соотношения между различными критериями.
- На момент принятия решения принципиально отсутствует информация, позволяющая объективно оценить возможные последствия выбора того или иного варианта решения. Но поскольку решение так или иначе должно быть принято, то недостаток информации необходимо восполнить. Это может быть сделано лишь людьми на основе их опыта и интуиции.

#### **4. Первые многокритериальные решения: сколько строить ракет?**

Одним из первых подходов к принятию решений при двух критериях является метод «стоимость—эффективность». Он был разработан в конце 50-х годов в США для решения военных задач. В годы ракетно-ядерной гонки США — СССР одной из основных была задача о достаточности системы нападения для преодоления защиты потенциального противника. Метод «стоимость—эффективность» состоит из трех основных этапов:

- 1) построения модели эффективности;
- 2) построения модели стоимости;
- 3) синтеза оценок стоимости и эффективности.

Пример типичной модели, используемой в методе «стоимость—эффективность» для анализа вариантов построения военно-технических систем, дан на рис 14.

Модель состоит из двух частей — модели стоимости и модели эффективности. Эти модели используются для выбора военной системы с определенным числом ракет. Модель стоимости представляет зависимость общей стоимости от количества ракет, а модель эффективности — зависимость вероятности поражения целей от количества ракет. Обе модели в данном случае можно рассматривать как объективные: они строятся на базе фактических данных, надежного статистического материала. Однако выходные параметры этих моделей не объединяются посредством заданной зависимости; используется суждение руководителя, который определяет предельные значения стоимости, необходимые значения эффективности. Часто используют отношение стоимости к эффективности, но при этом рекомендуется обращать внимание на абсолютные значения этих величин.

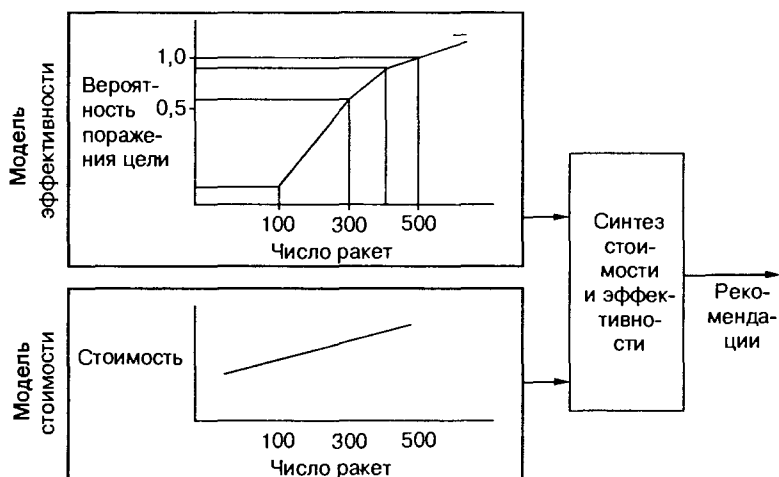


Рис. 14. Модели, используемые в методе «стоимость–эффективность»

Основное отличие приведенной модели от типичных моделей исследования операций заключается в появлении субъективных суждений при синтезе стоимости и эффективности. В общем случае на этапе синтеза стоимости и эффективности рекомендуется использовать два основных подхода: 1) фиксированной эффективности при минимально возможной стоимости (при таком подходе выбирается «самая дешевая» альтернатива, обладающая заданной эффективностью); 2) фиксированной стоимости и максимально возможной эффективности (случай бюджетных ограничений) [4]. Смысл этих подходов ясен — перевод одного из критериев оценки альтернатив в ограничение.

Но при этом сразу же возникает вопрос: как, на каком уровне установить ограничение на один из критериев. Объективный и единственно возможный ответ на этот вопрос в общем случае не вытекает из условий задачи. Ни требуемая эффективность, ни бюджетные ограничения не устанавливаются обычно достаточно жестко. Очевидно, что при нескольких критериях этот же вопрос становится существенно сложнее. Иначе говоря, когда аналитик сам переводит все критерии, кроме одного, в ограничения, он совершает произвол, ничем не оправданный с точки зрения руководителя, ответственного за решение проблемы.

В ряде случаев используют отношение двух указанных выше критериев. Авторы метода предостерегают против механического использования отношения стоимости к эффективности,



указывая, что оно может быть одним и тем же при разных абсолютных значениях числителя и знаменателя.

Третий подход к синтезу стоимости и эффективности приводит к построению множества Эджворта–Парето (рис. 15). Сравним два варианта на множестве Эджворта–Парето. Вариант А менее дорогой, чем вариант В, но и менее эффективный. Вариант В более эффективный, чем вариант А, но и более дорогой. Сравнивая варианты, находящиеся на множестве Парето, ЛПР останавливается на одном из них и делает свой окончательный выбор.

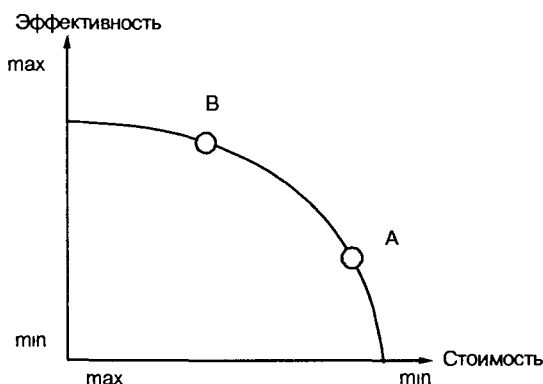


Рис. 15. Множество Эджворта–Парето при двух критериях

## 5. Разные типы проблем

Подходы исследования операций и принятия решений существенно различаются, так как они направлены на принципиально разные проблемы принятия решений, существующие в окружающем нас реальном мире. Эти принципиальные различия стремились подчеркнуть авторы множества классификаций проблем принятия решений. Так, в известной классификации, предложенной в 1958 г. в статье Г. Саймона и А. Ньюэлла [5], выделяются так называемые хорошо и слабоструктуризованные проблемы. *Хорошо структуризованные*, или количественно сформулированные проблемы — те, в которых существенные зависимости выяснены настолько хорошо, что могут быть выражены в числах или символах, получающих в конце концов численные оценки. *Слабоструктуризованные*, или смешанные проблемы — те, которые содержат как качественные, так и количественные

элементы, причем качественные, малоизвестные и неопределенные стороны проблем имеют тенденцию доминировать.

Важно подчеркнуть, что в типичных задачах исследования операций объективно существует реальность, допускающая строгое количественное описание и определяющая существование единственного очевидного критерия качества. Изучение реальной ситуации может требовать большого труда и времени. Необходимая информация может быть дорогостоящей (например, требуются специальные исследования, чтобы определить значения ряда параметров). Однако при наличии средств и хорошей квалификации аналитиков имеются все возможности найти адекватное количественное описание проблемы, количественные связи между переменными и критерий качества.

Можно сказать, что типичные проблемы исследования операций являются хорошо структуризованными.

По-иному обстоит дело в многокритериальных задачах. Здесь часть информации, необходимой для полного и однозначного определения требований к решению, принципиально отсутствует. Исследователь часто может определить основные переменные, установить связи между ними, т. е. построить модель, адекватно отражающую ситуацию. Но зависимости между критериями вообще не могут быть определены на основе объективной информации, имеющейся в распоряжении исследователя. Такие проблемы являются слабоструктуризованными, так как здесь недостаток объективной информации принципиально неустраним на момент принятия решения.

Более того, существуют проблемы, в которых известен только перечень основных параметров, но количественные связи между ними установить нельзя (нет необходимой информации). Иногда ясно лишь, что изменение параметра в определенных пределах сказывается на решении. В таких случаях структура, понимаемая как совокупность связей между параметрами, не определена, и проблема называется *неструктуризованной*. Типичными неструктуризованными проблемами являются проблема выбора профессии, проблема выбора места работы и многие другие проблемы выбора. Слабоструктуризованные и неструктуризованные проблемы исследуются в рамках научного направления, называемого принятием решений при многих критериях.

## 6. Два пространства

Появление многокритериальности привело к принципиальному изменению характера решаемой задачи. Предпочтения ЛПР стали основой выработки решений. Они во многом определяют результат решения. Из наблюдателя и заказчика ЛПР превратился в решателя задачи. Решение теперь можно назвать субъективным, хотя в процессе решения используются объективные модели.

Характерной особенностью многокритериальных задач с объективными моделями является одновременное рассмотрение двух пространств – пространства переменных, используемых при построении модели, и пространства критериев.

Приведем иллюстративный пример: построим нарочито простую модель с двумя параметрами и двумя критериями. Из множества переменных, описывающих экономическую систему современного государства, выберем два:  $x_1$  – увеличение объема денежной массы;  $x_2$  – увеличение количества рабочих мест.

Предположим, что определенное количество рабочих мест может быть создано без увеличения объема денежной массы, но дальнейшее их увеличение пропорционально объему денежной массы (рис. 16). На рисунке заштрихованная область D может быть названа областью допустимых значений параметров ( $x_1$  и  $x_2$  изменяются от 0 до 1).

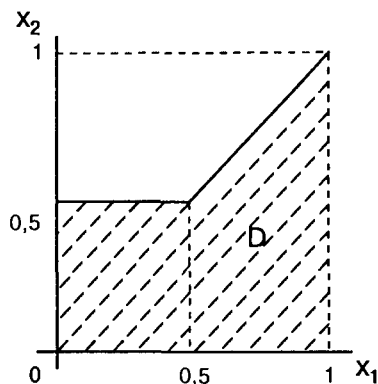


Рис. 16. Связь количества рабочих мест с увеличением денежной массы

Введем два критерия:  $C_1$  – уменьшение безработицы (в %);  $C_2$  – увеличение ВВП (в %).

Заметим, что при одном критерии оптимальное решение очевидно. При большом числе переменных и одном критерии решение может быть найдено при помощи стандартных программ линейного программирования (см. список литературы в конце лекции).

Пусть критерии связаны с переменными следующими зависимостями:

$$C_1 = 0,1x_1 + 0,9x_2; \quad C_2 = 0,5x_1 + 0,5x_2.$$

Эти зависимости позволяют построить допустимую область изменения значений критериев  $S$  (рис. 17) при изменении переменных. Область  $S$  зависит от уравнений связи между переменными и критериями. В реальных задачах число переменных велико (до десятков тысяч), а число критериев невелико (обычно не более 10). ЛПР работает с критериями, определяя свои требования к качеству решения и анализируя область  $S$ . Отметим еще раз, что область  $S$  появляется только в многокритериальных задачах.

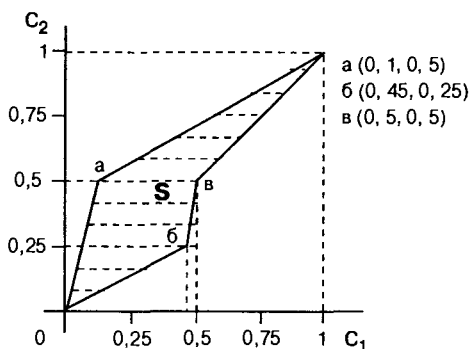


Рис. 17. Допустимая область  $S$  изменения значений критериев

## 7. Многокритериальный анализ экономической политики

От чисто иллюстративной (и примитивной) модели перейдем к макроэкономической модели экономики Финляндии [6], построенной в начале 70-х годов. Эта модель представляет собой совокупность линейных уравнений и ограничений. Некоторые переменные в модели были управляющими, т. е. могли быть изменены ЛПР. При определенных значениях управляющих переменных получаем одно из возможных решений. Качество решений оценивалось по четырем критериям:

$C_1$  — увеличение валового национального продукта (в %);

$C_2$  — уменьшение инфляции (в %);

$C_3$  — уменьшение безработицы (в %);

$C_4$  — уменьшение дефицита внешней торговли (млрд финских марок).

Используя специальные человекомашинные процедуры (см. далее), несколько ЛПР получали при помощи макроэкономической модели различные варианты экономической политики. В табл. 3 приведены три варианта, полученные одним из ЛПР.

Таблица 3  
Значения критериев оценки вариантов экономической политики

Вариант решения	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
1	-2,74	8,16	3,28	2,24
2	0,57	9,00	2,81	5,27
3	1,81	8,88	2,64	6,54
Наилучшие значения	7,18	8,16	1,88	1,21

В нижней строке табл. 3 приведены наилучшие значения каждого из критериев, которые можно получить, если взять один из критериев как основной, а на другие не обращать внимания. Наилучшие значения по всем критериям одновременно не достижимы. Модель, т. е. совокупность зависимостей между многочисленными переменными, описывающими экономику Финляндии, не позволяет получить такое решение. Это означает, что соответствующая точка лежит за пределами области допустимых значений.

Варианты экономической политики, представленные в табл. 3, показаны также на рис. 18, где шкалы критериев построены от лучших (нижних) к худшим (верхним) значениям. Рисунок позволяет легко обнаружить, что три варианта эконо-

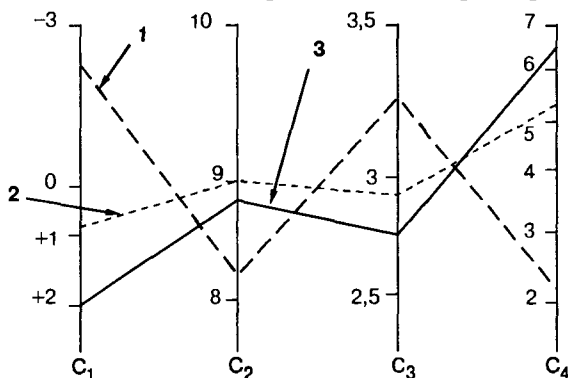


Рис. 18. Три варианта экономической политики

мической политики являются точками множества Э–П в четырехмерном пространстве критериев. Действительно, первый вариант дает минимальное значение инфляции, но отрицательный прирост ВВП и большую безработицу. Второй и третий варианты допускают большую инфляцию. Они приводят к росту ВВП, но вырастает и дефицит внешней торговли. Эти противоречия отражают типичный характер вариантов многокритериальных решений. Для окончательного выбора нужен компромисс: приходится чем-то пожертвовать, чтобы что-то получить.

## **8. Две трудности для ЛПР**

Приведенный выше пример позволяет объяснить, почему многокритериальные задачи с объективными моделями сложны для ЛПР.

Чтобы принять решение, необходимо, во-первых, установить, насколько хорошие значения по критериям достижимы одновременно. Сделать это совсем не просто. В отличие от иллюстративного примера на рис. 16, число переменных, описывающих область  $D$  допустимых значений, равно сотням и тысячам. Получая каким-то из способов (см. далее) решение задачи, ЛПР видит соотношения между критериями. Для поведения ЛПР типичны попытки достичь «всего сразу» (т. е. получить наилучшие значения по всем критериям одновременно). Результаты таких попыток позволяют понять, чего можно достичь и чего нельзя. Наряду с этим ЛПР вырабатывает компромисс между оценками по критериям, определяя желательное для него отношение между ними в точке решения.

Выработка такого компромисса достигается тоже путем проб, ошибок и затрат времени. На первых этапах решения ЛПР обычно стремится к идеальному результату, но потом, с опытом, его притязания становятся более реалистичными.

## **9. Исследование решений на множестве Э–П**

При появлении многокритериальных задач возникла идея построения пространства Э–П и организации работы ЛПР на этом множестве.

Из современных направлений исследований, идущих по этому пути, необходимо выделить два подхода. Первый из них

связан с визуализацией множества Э–П и предоставлением ЛПР возможности проводить анализ на плоскостях пар критериев при фиксированных значениях других критериев. Этот подход получил название метода достижимых целей [13].

Другой подход применяется в тех случаях, когда ЛПР может восстановить по совокупности критериальных оценок, а также по другим параметрам целостный облик альтернативы. Эта ситуация характерна обычно для деятельности конструктора. Предъявление решений, находящихся на множестве Э–П, помогает конструктору в поиске новых эффективных конструкций механизмов и машин [14 ].

### **10. Постановка многокритериальной задачи линейного программирования**

Теперь, когда основные трудности для ЛПР стали ясны, можно сформулировать многокритериальную задачу линейного программирования.

*Дано:* область D допустимых значений переменных, определяемая совокупностью линейных равенств и неравенств; критерии  $C_i$ , оценивающие качество решения.

Каждый из критериев линейно связан с переменными:

$$C_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j,$$

где  $n$  – число переменных ( $j=1, \dots, n$ );  $c_{ij}$  – числовые коэффициенты.

*Требуется:* найти решение  $X$  в области D, при котором достигаются наиболее приемлемые значения по всем критериям. Иначе говоря, нужно найти такие критериальные оценки, при которых достигается максимальное значение априори неизвестной функции полезности ЛПР.

Эта задача решается с помощью человеко-машинных процедур.

### **11. Человекомашинные процедуры**

Средством исследования области допустимых решений, приводящим к желаемому выбору наилучшего решения, являются *человекомашинные процедуры* (ЧМП), представляющие собой процедуры общения ЛПР и компьютера. Они состоят из

совокупности шагов, каждый из которых включает в себя фазу анализа, выполняемого ЛПР, и фазу расчетов, выполняемых компьютером.

**Фаза расчетов (компьютер):**

- используя полученную от ЛПР на предыдущем шаге информацию, проводит дополнительные расчеты;
- вычисляет решение, соответствующее последней информации ЛПР;
- вырабатывает вспомогательную информацию для ЛПР.

**Фаза анализа (ЛПР):**

- оценивая предъявленное решение (или совокупность решений), определяет, является ли решение (одно из решений) приемлемым; если да, то ЧМП окончена; в противном случае ЛПР анализирует вспомогательную информацию;
- сообщает дополнительную информацию, с помощью которой компьютер вычисляет новое решение.

Существует большое количество ЧМП [3], [7]. Различные ЧМП отличаются друг от друга содержанием и способом выполнения каждой из фаз. Первые из разработанных ЧМП основаны на использовании информации об относительной важности критериев.

## 12. Весовые коэффициенты важности критериев

При появлении многокритериальных задач возникли дополнительные трудности их решения, связанные с получением информации от ЛПР. Естественной реакцией на это было стремление получить такую информацию сразу и быстро устранить многокритериальность. Этот подход был реализован путем объединения многих критериев в один с помощью так называемых *весовых коэффициентов важности критериев*. Глобальный критерий вычисляется по формуле

$$C_{\text{гл}} = \sum_{i=1}^N w_i C_i, \quad (1)$$

где  $C_i$  — частные критерии ( $i=1, \dots, N$ );  $w_i$  — веса (коэффициенты важности) критериев:

$$0 \leq w_i \leq 1; \quad \sum_{i=1}^N w_i = 1. \quad (2)$$



Идея такого объединения состоит в том, что ЛПР назначает числа (часто по численной шкале 1–100), представляющие для него ценность рассматриваемого критерия. Считается, что ЛПР может назначить такие числа. Далее, весовые коэффициенты нормируются на основе условия (2).

Обратимся к рис. 15. Легко увидеть, что решения, соответствующие точкам А и В на множестве Парето, могут быть представлены в виде

$$C_A = \sum_{i=1}^{i=2} w_i^A C_i^A; \quad C_B = \sum_{i=1}^{i=2} w_i^B C_i^B.$$

Существует лемма [8], утверждающая, что для линейной задачи любое эффективное, находящееся на множестве Э–П решение может быть представлено в виде (1), т. е. в виде весов, умноженных на частные критерии. Следовательно, формально задача сводится к нахождению весов.

Возникла идея, что эти веса можно получить от ЛПР оперативно. Если ЛПР затрудняется в начале процесса решения (до изучения области D) сразу назвать эти веса, то можно построить ЧМП следующего содержания: ЛПР назначает первоначальные веса, смотрит на решение и корректирует веса до получения удовлетворительного результата.

### 13. Классификация ЧМП

В [3] предложена классификация ЧМП, основанная на характере информации, получаемой от ЛПР на фазе анализа.

Первая группа ЧМП — прямые ЧМП, в которых ЛПР непосредственно назначает веса критериев и корректирует их на основе полученных решений.

Для второй группы ЧМП задача ЛПР состоит в сравнении многокритериальных решений. Эта группа называется ЧМП оценки векторов.

Третья группа требует от ЛПР наложения ограничений на значения критериев и, следовательно, на область допустимых значений. ЧМП этой группы называются ЧМП поиска удовлетворительных решений.

Перед тем как перейти к рассмотрению ЧМП каждой группы, следует указать на общие предварительные этапы, встречающиеся во многих ЧМП.

Перед решением задачи рекомендуется произвести нормирование критериев, определив диапазон их изменения от 0 до 1:

$$C'_k(x) = \frac{C_k(x) - \underline{C}_k(x)}{\bar{C}_k(x) - \underline{C}_k(x)},$$

где  $\underline{C}_k, \bar{C}_k$  – минимально и максимально возможные значения  $k$ -го критерия  $C_k(x)$  – промежуточное значение.

Кроме того, как это было показано выше на примере (п. 7), для каждого из критериев вычисляется оптимальное абсолютное значение. Вектор таких (недостижимых одновременно) значений помогает ЛПР оценить пределы возможного.

#### 14. Прямые человекомашинные процедуры

В основе прямых ЧМП лежит предположение, что человек может искать наилучшее решение путем непосредственного назначения ряда параметров (например, весов критериев) и сравнения получающихся решений.

В качестве примера прямых ЧМП рассмотрим процедуру SIGMOP (последовательный генератор информации для многоцелевых задач [9]). В ней ЛПР пытается найти хорошее решение путем назначения весов критериев ( $w_i$ ) и уровней допустимых значений по всем критериям одновременно ( $C_i \geq l_i$ ).

Лицо, принимающее решение, задает начальные значения  $w_i$  и  $l_i$  ( $i=1, \dots, N$ ). Далее на фазе расчетов компьютер определяет новую область  $D$  допустимых значений переменных и находит в ней значение глобального критерия (1), а также всех отдельных критериев. Значения всех критериев, не удовлетворяющих условиям, наложенным ранее, предъявляются ЛПР. После этого ЛПР меняет веса и ограничения в любой последовательности до тех пор, пока процедура не даст ему приемлемого решения.

Если критериев мало (два-три), то данная процедура может быть достаточно удобной. Однако при возрастании числа критериев для ЛПР становится все сложнее оценить влияние на получаемые решения каждого из весов и каждого из ограничений. Поэтому, вероятно, количество прямых ЧМП сравнительно невелико.

## 15. Процедуры оценки векторов

В основе этих процедур лежит предположение, что ЛПР может непосредственно сравнивать решения, предъявляемые ему в виде векторов в критериальном пространстве, и систематически искать в этом пространстве наилучший вектор.

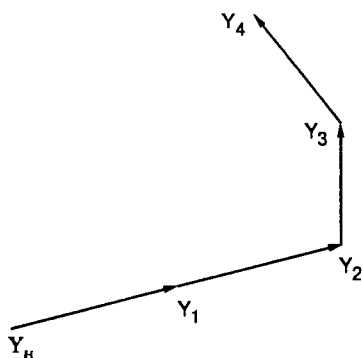


Рис. 19. Поиск решения в критериальном пространстве

Одной из наиболее известных ЧМП оценки векторов является процедура Дайера–Джиофриона (Д–Д) [10]. Она начинается с выбора какой-либо точки в критериальном пространстве (рис. 19). В этой точке ЛПР определяет градиент глобальной целевой функции. Один из критериев считается опорным. Берется небольшое изменение значения этого критерия (в сторону улучшения) от начального. Перед ЛПР ставятся вопросы типа: какое изменение по иному критерию эквивалентно заданному изменению опорного критерия? Ответы ЛПР определяют вектор (направление), вдоль которого изменение глобального критерия будет наиболее эффективным. Вдоль этого направления делается шаг определенной длины значения и получаются новые значения по всем критериям. Совокупность этих значений (вектор) предъявляется ЛПР вместе с первоначальным решением (соответствующим начальной точке). Далее перед ЛПР ставится вопрос: какое из решений лучше? Если лучше новое решение (назовем его  $Y_1$ ), то делается еще шаг вдоль этого же направления и вычисляется решение  $Y_2$ . Далее  $Y_1$  и  $Y_2$  предъявляются ЛПР. Если  $Y_2$  лучше, то делается еще шаг в прежнем направлении, и т. д. Если  $Y_2$  лучше, чем  $Y_1$ , то в точке  $Y_2$  определяется новый градиент (направление) изменения глобальной целевой функции (см. рис. 19), и т. д. Про-

цедура заканчивается, если ЛПР признает очередное решение вполне для него удовлетворительным.

В отличие от прямых методов в ЧМП Д-Д наблюдается систематический поиск, помогающий ЛПР выбрать наилучшее решение. Уязвимым местом ЧМП оценки векторов является предположение, что ЛПР может безошибочно определять градиент целевой функции. Отмечалось, что, работая с малыми приращениями критериев, ЛПР будет постоянно совершать ошибки.

## 16. Процедуры поиска удовлетворительных значений критериев

Эти процедуры также предназначены для систематического поиска наилучшего решения. Однако такой поиск осуществляется по-иному: в порядке очереди определяется приемлемое значение по каждому из критериев.

Примером ЧМП поиска удовлетворительных значений критериев служит процедура STEM — одна из первых ЧМП [11]. Она предназначена для решения многокритериальных задач линейного программирования, одной из которых как раз и является многокритериальная транспортная задача (см. выше).

Рассмотрим фазы расчетов и анализа ЧМП STEM.

Фаза расчетов:

1. Проводится оптимизация по каждому критерию отдельно, при этом значения всех остальных критериев заносятся в табл. 4.

Таблица 4

*Относительные значения критериев*

Критерии	$C_1$	$C_2$	...	$C_N$
$C_1$	1	$C_1^2$	...	$C_1^N$
$C_2$	$C_2^1$	1	...	$C_2^N$
...	...	...	...	...
$C_N$	$C_N^1$	$C_N^2$	...	1

В таблице  $C_j^i$  — значение  $i$ -го критерия при оптимизации по  $j$ -му критерию. Ясно, что диагональные элементы равны единице, а все прочие меньше единицы. Очевидно, что после нормирования наибольшее значение каждого критерия

равно единице, а наименьшее — нулю. Любой столбец содержит значения соответствующего критерия, достигаемые при оптимизации по всем критериям.

Таблица вмещает ценную информацию, характеризующую область допустимых значений. Так, если значения каких-то двух столбцов близки для каждой из строк (кроме строк, содержащих единицы в этих столбцах), то два соответствующих критерия сильно зависимы, так как изменения всех иных критериев (кроме этих двух) одинаково влияют на эти два критерия. Можно выявить также и противоречивые критерии: высокая оценка по одному сопровождается низкой оценкой по другому. Такая информация весьма полезна для ЛПР, изучающего возможности, предоставляемые областью D допустимых значений.

2. По табл. 4 вычисляются индексы критериев.

Пусть  $\alpha_i$  — среднее значение, взятое по всем элементам  $i$ -го столбца (кроме единицы). Тогда  $\lambda_i$  (индекс  $i$ -го критерия) вычисляется из соотношений:

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_j} = \frac{1 - \alpha_i}{1 - \alpha_j}; \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1. \quad (3)$$

Индекс критериев может быть назван коэффициентом внимания, которое следует уделять критерию при поиске решения.

Предположим, что все элементы  $i$ -го столбца в табл. 4 близки к единице. Тогда среднее значение тоже близко к единице,  $(1 - \alpha_i)$  мало и соответствующий индекс мал. Действительно, если при оптимизации по другим критериям значение данного критерия близко к наилучшему, то ему вряд ли стоит уделять внимание. Наоборот, критерию, сильно зависящему от изменений других критериев ( $\alpha_i$  мало), должны соответствовать большие значения индекса. Индексы называют иногда *техническими весами* потому, что в отличие от весов  $w_i$  они не назначаются ЛПР, а вычисляются.

3. Производится оптимизация по глобальному критерию. Глобальный критерий имеет вид

$$C_{гн} = \sum_{i=1}^N \lambda_i C_i, \quad (4)$$

где  $\lambda_i$  определяются из (3).

Решение, найденное при оптимизации, предъявляется ЛПР.

### Фаза анализа:

1. ЛПР анализирует вектор значений критериев  $y_1$ , найденный при оптимизации по критерию (4). Затем ему задается вопрос: все ли компоненты вектора  $y_1$  имеют удовлетворительные значения? Если да, то решение получено. Если нет, то ЛПР указывает один критерий с наименее удовлетворительным значением.

2. ЛПР просят назначить для критерия с наименее удовлетворительным значением пороговое значение  $l_1$ , при достижении которого можно признать этот критерий имеющим удовлетворительное значение:

$$C_i \geq l_1. \quad (5)$$

Условие (5) добавляется к совокупности линейных равенств и неравенств, определяющих область  $D$  допустимых значений переменных. Таким образом, возникает уже новая область допустимых значений.

На этом фаза анализа заканчивается. Следующий шаг начинается с фазы расчетов при новой области допустимых значений и т.д. При достижении удовлетворительных для ЛПР значений по всем критериям ЧМП останавливается.

### **17. Пример применения метода STEM: как управлять персоналом**

Французской консультативной фирмой SEMA предложена модель, характеризующая изменения со временем состава персонала большой организации и продуктивности ее работы [12]. Модель использовалась для прогнозирования последствий различных вариантов управления кадрами организации. Проверялись разные стратегии приема на работу и повышения в должности через два, три и четыре года. В качестве переменных модели рассматривалось количество сотрудников, назначенных на различные должности в определенные периоды времени.

Использовались четыре критерия, представляющих собой линейные функции от переменных: общее «удовлетворение» кадров (SA); фактическая эффективность работы кадров (EF); стоимость приема на работу дополнительных сотрудников (EB); стоимость нехватки кадров по отношению к прогнозируемым потребностям (EC).

В модель были заложены следующие зависимости:

- эффективность работы сотрудника линейно зависит от отношения оценки его возможностей  $Q$  к оценке требований  $t$ , предъявляемых должностью к сотруднику;
- удовлетворение сотрудника во время пребывания на определенной должности сначала возрастает до максимального значения, а затем со временем уменьшается до первоначального значения также в зависимости от отношения  $Q$  к  $t$ .

С математической точки зрения проблема представляла собой задачу линейного программирования с четырьмя критериями качества, 350 переменными и 200 ограничениями. Не имелось никакой априорной информации о сравнительной важности критериев.

Для решения был использован метод STEM [11]. На первом этапе решения в области допустимых значений была осуществлена оптимизация по каждому из критериев. Затем при помощи линейного преобразования истинных значений критериев к значениям в интервале  $(0,1)$  (нормирования) был выполнен переход к относительным значениям критериев. Значения критериев при поочередной оптимизации по каждому из них приведены в табл. 5. Из рассмотрения таблицы можно сделать вывод о сильной зависимости критериев SA и EF и о противоречивости этих критериев и критериев EB и EC; последние два противоречивы также друг другу.

Таблица 5

*Значения критериев при поочередной оптимизации  
по каждому из них*

Критерий	SA	EF	EB	EC
SA	1	0,875	0,275	0,83
EF	0,86	1	0,09	0,765
EB	0,131	0,149	1	0,4
EC	0,442	0,45	0,733	1

Далее на основе приведенной таблицы были определены начальные индексы (технические веса) критериев. Пусть  $(a_{cp})_v$  — среднее по  $v$ -му столбцу значение всех элементов, кроме максимального (равного 1). Определим

$$b_v = 1 - (a_{cp})_v.$$

Индексы критериев находим из условия

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_j} = \frac{b_i}{b_j}; \quad \sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1,$$

что позволяет получить:

Критерий	SA	EF	EB	EC
$\lambda_i$	0,261	0,254	0,317	0,168

Такой способ определения технических весов отражает стремление найти в области допустимых решений вершину с наилучшими значениями по всем критериям.

Затем проводилась оптимизация по глобальному критерию, что дало следующий результат:

$$SA=0,965; EF=0,85; EB=0,45; EC=0,675.$$

Для диалога с ЛПР значения по критериям EB и EC были представлены в единицах стоимости. ЛПР предъявлялись: вектор  $z_1$  максимальных значений, достигаемых при максимизации по каждому из критериев по отдельности, и вектор  $y_1$  значений критериев, достигаемых при оптимизации по глобальному критерию с приведенными выше индексами:

$$z_1=\{1; 1; -276; -157\};$$

$$y_1=\{0,965; 0,85; -1920; -1269\}.$$

Перед ЛПР был поставлен вопрос: все ли компоненты вектора  $y_1$  имеют удовлетворительные значения? При ответе на этот вопрос использовался вектор  $z_1$ , компоненты которого представляли собой максимально возможные (недостижимые одновременно) значения компонентов вектора  $y_1$ . Руководитель определил значение по критерию EB как наименее удовлетворительное и нашел нижний уровень по критерию EB: -1000.

Далее были найдены максимально возможные значения трех прочих критериев при ряде ограничений, дополнительно накладываемых на критерии EB:

Критерий	EB>-750	EB>-1000	EB>-1250	EB>-1500
SA	0,67	0,78	0,84	0,90
EF	0,62	0,72	0,82	0,88
EC	-731	-157	-57	-157



При рассмотрении этой таблицы руководитель выбрал вектор при  $EB > -1500$  как обеспечивающий приемлемый компромисс между повышением качества по критерию  $EB$  и понижением качества по критериям  $SA$  и  $EF$ . Для новой области допустимых решений (при  $EB > -1500$ ) приведенным выше способом были подсчитаны новые значения индексов для трех критериев:

Критерий	SA	EF	EC
$\lambda_1^1$	0,885	0,775	0,910

Далее была проведена оптимизация по глобальному критерию с индексами. Полученное решение (вектор  $y_2$ ) вместе с вектором  $z_2$  максимальных значений критериев, достигаемых уже при новой области допустимых значений переменных

$$z_2 = \{0,9; 0,88; -157\},$$

$$y_2 = \{0,885; 0,775; -1068\},$$

было предъявлено ЛПР во время третьего диалога с ним. Руководитель определил значение по критерию  $EC$  как наименее удовлетворительное и выбрал в качестве нижнего уровня по  $EC$  значение  $-600$ .

Затем были определены максимально возможные значения двух критериев при ряде ограничений, накладываемых на  $EC$ :

Критерий	$EC > -800$	$EC > -600$	$EC > -400$
SA	0,85	0,8	0,73
EF	0,8	0,75	0,68

Руководитель выбрал вектор при  $EC > -800$  как обеспечивающий приемлемый компромисс между повышением качества по критерию  $EC$  и понижением качества по критериям  $SA$  и  $EF$ . Зная сильную взаимозависимость критериев  $SA$  и  $EF$ , он выбрал решение, соответствующее максимуму  $EF$ , как окончательное решение проблемы:

$$SA=0,76; EF=0,8; EB=-1500; EC=55-800.$$

На рис. 20 приведена блок-схема метода STEM.

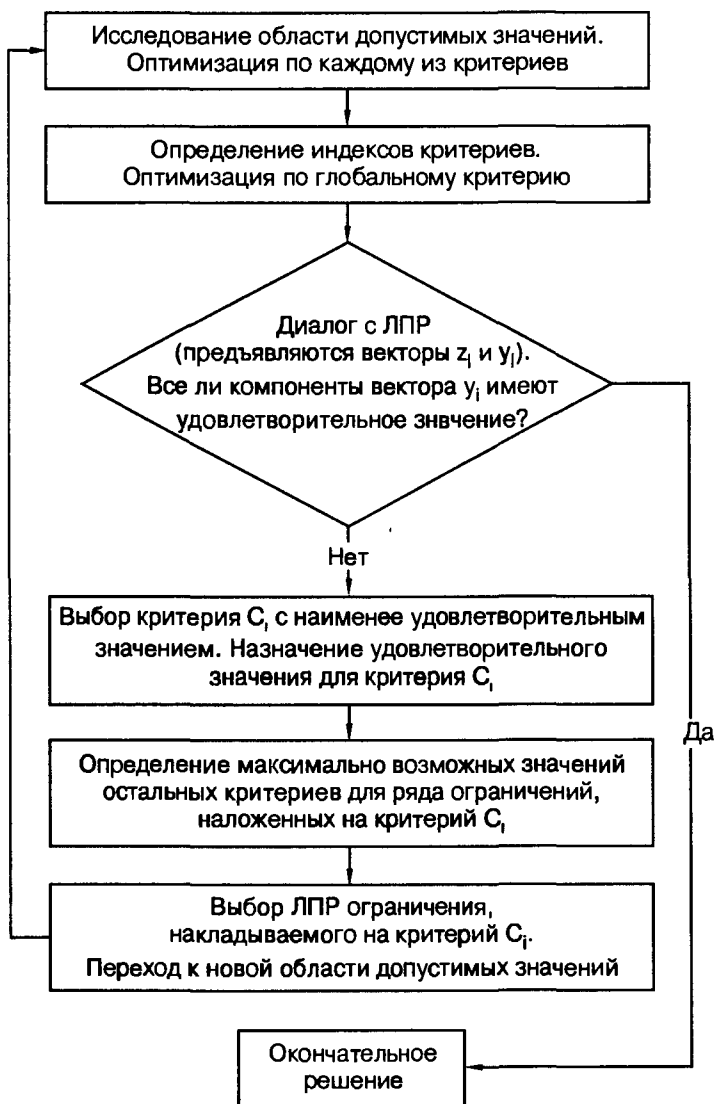


Рис. 20. Блок-схема метода STEM

## Выводы

1. Предшественниками методов принятия решений во многих случаях являются методы исследования операций. С помощью этих методов исследования операций: а) разрабатываются модели, описывающие объективную реальность; б) определяется единственный критерий оптимальности решения; в) рассчитывается оптимальное решение.

Существенное отличие проблем принятия решений от проблем исследования операций состоит в наличии многих критериев оценки качества решения. Компромисс между критериями может быть найден только на основе предпочтений ЛПР.

Существует особый класс задач принятия решений, в которых модели имеют объективный характер (как в задачах исследования операций), но качество решений оценивается по многим критериям.

Эти задачи могут быть названы многокритериальными задачами с объективными моделями. Они находятся на границе между исследованием операций и принятием решений.

Одним из первых многокритериальных методов является метод «стоимость–эффективность». Он включает в себя два этапа:

- построение моделей стоимости и эффективности;
- синтез оценок стоимости и эффективности.

На втором этапе используются подходы.

- оптимизация по одному критерию при заданном ограничении по второму,
- построение множества Э–П

Средством решения многокритериальных задач с объективными моделями являются человекомашинные процедуры (ЧМП). ЧМП представляют собой циклический процесс взаимодействия ЛПР и компьютера. Каждый шаг ЧМП состоит из фазы анализа, выполняемой ЛПР, и фазы расчетов, выполняемой компьютером.

Можно выделить три группы ЧМП: 1) прямые, основанные на выборе коэффициентов важности критериев; 2) ЧМП сравнения векторов; 3) ЧМП поиска удовлетворительных значений критериев. Одной из первых ЧМП является STEM, основанная на идее последовательного наложения ограничений на критерии.

### Список литературы

Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Наука, 1980.

Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1973.

Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения. М.: Наука, 1987.

Хитч Ч. Руководство обороной. М.: Сов. радио, 1968.

Simon H., Newell A. Heuristic problem solving: the next advance in operations research // Oper. Res. 1958. V. 6, Jan.

Wallenius H., Wallenius Y., Vartia P. An approach to solving multiple criteria macroeconomic policy problems and an application // Management Science. 1978. V. 24, № 10, June.

Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. М.: Радио и связь, 1992.

Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. М.: Мир, 1964.

Monarchi D. E., Weber J.E., Duckstein L. An interactive multiple objective decision making aid using nonlinear goal programming // M. Zeleny (Ed.). Multiple criteria decision making. Berlin: Springer Verlag, 1976.

10. Дайер Дж. Многоцелевое программирование с использованием человеко-машинных процедур // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976.
11. Бенайюн Р., Ларичев О., Монтгольфе Ж., Терни Ж. Линейное программирование при многих критериях: метод ограничений // Автоматика и телемеханика. 1971. № 8.
12. Benayoun R., Decostre S., Leyrat P. Gestion previsionelle des cadres. Rapp. № 35. SEMA, 1969.
13. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. М.: Наука, 1997.
14. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981.

### **Контрольное задание**

**Дайте определения следующих ключевых понятий:**

*Исследование операций*

*Объективная модель*

*Критерий оптимальности*

*Роль ЛПР при подходе исследования операций*

*Метод «стоимость–эффективность»*

*Синтез стоимости и эффективности*

*Хорошо и слабоструктурированные проблемы*

*Пространство переменных и критериев*

*Человекомашинные процедуры (ЧМП): фазы анализа и расчетов*

*Трудности ЛПР в ЧМП*

*Прямые ЧМП*

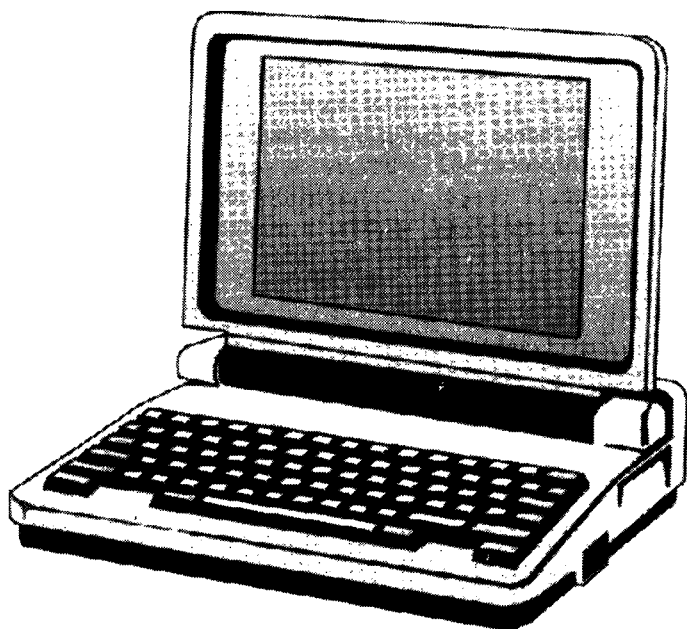
*ЧМП оценки векторов*

*ЧМП поиска удовлетворительных решений*

*Процедура SNEM*



# **Методы оценки и сравнения многокритериальных альтернатив**



*Применявшаяся в прошлом простая политика выбора тех нововведений, которые сулили самую скорую экономическую выгоду, оказывается ныне опасной, дезориентирующей, подрывающей устойчивость. Сегодня нам нужны гораздо более сложные критерии отбора технических новинок. Такие критерии, определяющие политику выбора, нужны нам не только для того, чтобы предотвратить бедствия, которых можно избежать, но также и для того, чтобы помочь открыть возможности завтрашнего дня.*

*Алвин Тоффлер. Футурошок*

## **ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ**

### **Подарок студентам Университета Власти**

*«Друзья мои, вы заканчиваете третий семестр, – обратился к студентам ректор Университета Власти, – и я хочу вручить каждому из вас подарок Президента нашего Университета, г-на Карлоса. Это – компьютер, самый совершенный, самый мощный и при этом – самый миниатюрный. Он будет не только вашим советчиком и помощником во всех ваших делах, но и вашим другом. Его программы подготовлены персонально для каждого из вас и содержат информацию о вашем хромосомном наборе, о вашем воспитании, о ваших вкусах и пристрастиях, об успехах и неудачах. Все это – предварительные знания, но они очень важны для вашей последующей жизни. Каждый раз, принимая решение, вы можете вводить в компьютер свои оценки вариантов по различным критериям, свои описания возможного будущего.*

*Подключаясь к Монтландской сети, компьютер узнает мнение других людей о ваших решениях. Он будет продолжать изучать вас: следить за вашей деловой жизнью и задавать вам непростые вопросы. Так он сделается вашим постоянным советчиком, его советы будут и стратегическими – как строить жизнь, и помогающими в выборе правильного поступка в самых разных ситуациях. Ему можно будет доверить свои планы (ведь никто другой не сможет проникнуть в его память), и со временем он станет вашим незаменимым спутником.*

*Это не значит, что интеллектуальную работу за вас будет выполнять компьютер. Напротив, окончательный выбор решения будет предоставлен вам. Но он напомнит о прошлых решениях, поможет учесть все важные критерии, мнения различных активных групп и отдельных экспертов. Он сможет предостеречь вас от поспешного, непродуманного шага. Только не забывайте постоянно обращаться к этому мудрому и преданному другу».*

## **Лекция 4**

### **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И СРАВНЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ**

#### **1. Задачи принятия решений с субъективными моделями**

В этой лекции мы рассмотрим наиболее известные методы анализа решений, ориентированные на задачи, при решении которых используются модели субъективного характера. При решении таких задач строится не модель окружающей нас реальности, а модель желаний, предпочтений, политики человека, принимающего решения. Описанные далее методы построения таких моделей реализованы в виде компьютерных систем поддержки принятия решений. Хотя эти системы не столь совершенны, как в воображаемой стране Монтландии, они действительно оказывают помощь ЛПР.

#### **2. Снова об этапах процесса принятия решений**

В первой главе были определены три основных этапа процесса принятия решений: поиск вариантов решения (альтернатив), изобретение новых альтернатив, выбор наилучшей из группы альтернатив [1]. Все эти этапы, безусловно, встречаются в достаточно сложных реальных ситуациях принятия решений. Мы можем представить себе политика, подготавливающего законопроект для рассмотрения парламентом. Изучая проблему, на решение которой должен быть направлен закон, он обращается к историческому опыту своей страны и других стран, анализирует современную ситуацию. Зная точки зрения политических партий, представленных в парламенте, он ищет вариант законопроекта, достаточно приемлемый для других и решающий, с его точки зрения, поставленную задачу. Наконец, сравнивая несколько вариантов законопроекта, исходящих от различных авторов, он оценивает их по совокупности критериев (эффективность, затраты, влияние на различные социальные группы, реализуемость и т. д.) и выбирает наилучший.

Если мы обратимся к существующим методам принятия решений [2], то увидим, что подавляющее большинство этих методов предназначено для решения задач, которые Г. Саймон относит к третьему этапу — к сравнению заданных альтернатив



и к выбору наилучшей из них. Легко понять, почему задачи первого и второго этапов не рассматриваются в рамках различных теорий выбора. Задачи эти в основных своих чертах неформализованы и решаются благодаря навыкам и умениям консультанта и ЛПР. Если в процессе принятия решений всегда переплетены наука и искусство [3], то на первых двух этапах научные методы не играют важной роли. На третьем этапе задача предстает уже в достаточно определенном, структуризованном виде.

### **3. Различные группы задач принятия решений**

Представим в самых общих чертах группы задач принятия решений.

#### ***Задачи первой группы***

*Дано:* группа из  $n$  альтернатив-вариантов решения проблемы и  $N$  критериев, предназначенных для оценки альтернатив; каждая из альтернатив имеет оценку по каждому из критериев.

*Требуется:* построить решающие правила на основе предпочтений ЛПР, позволяющие:

- а) выделить лучшую альтернативу;
- б) упорядочить альтернативы по качеству;
- в) отнести альтернативы к упорядоченным по качеству классам решений.

#### ***Задачи второй группы***

*Дано:* группа из  $N$  критериев, предназначенных для оценки любых возможных альтернатив; альтернативы либо заданы частично, либо появляются после построения решающего правила.

*Требуется:* на основании предпочтений ЛПР построить решающие правила, позволяющие:

- а) упорядочить по качеству все возможные альтернативы;
- б) отнести все возможные альтернативы к одному из нескольких (указанных ЛПР) классов решений.

Примером задач первой группы является многокритериальная оценка имеющихся в продаже товаров, например телевизоров или стиральных машин. Здесь все возможные альтернативы заданы, критерии определены ЛПР; оценки реальных альтерна-

тив по критериям дают, как правило, эксперты. От ЛПР требуется построить правило сравнения объектов, имеющих оценки по многим критериям (например, сравнить стиральные машины на основании таких оценок, как цена, долговечность, стоимость эксплуатации, надежность, возможность ремонта и т. д.).

Примером задач второй группы является построение правила принятия решений для государственного или частного фонда, распределяющего ресурсы на научные исследования. Проекты проведения исследований еще не поступили, но критерии оценки и решающее правило должны быть определены заранее. Обычно таких проектов много, и можно предположить, что они будут достаточно разнообразны по оценкам. Критерии и решающее правило определяют ЛПР. Затем уже поступают проекты, которые оцениваются экспертами по заданным критериям. Решающее правило позволяет сразу же получить целостную оценку проекта.

Представленные выше две группы задач становятся весьма близки при рассмотрении в рамках первой задачи большого числа достаточно разнообразных (по своим оценкам) альтернатив. Но при малом числе заданных альтернатив методы решения задач первой и второй групп существенно различаются.

#### **4. Пример**

В силу ряда обстоятельств жители одного из городов в одной из стран стали чаще выезжать за границу. Существующие аэропорты, расположенные около города (назовем его городом М), не соответствовали по своим возможностям новому потоку пассажиров. Возникла необходимость в построении нового аэропорта около города М.

Правительство этой страны назначило комиссию по выбору места для аэропорта, которая приступила к работе. Были обследованы различные площадки около города, где постройка аэропорта нужного размера представлялась возможной. После многочисленных дискуссий комиссия определила три основных критерия для оценки вариантов расположения аэропорта.

1. Стоимость постройки. Желательно построить аэропорт с заданной пропускной способностью за наименьшую возможную цену.

2. Расстояние от города. Желательно, чтобы поездка пассажиров от аэропорта в город и обратно занимала наименьшее время.

3. Минимальное шумовое воздействие. Количество людей, подвергающихся нежелательным шумовым воздействиям, должно быть, по возможности, минимальным.

Легко заметить, что все эти критерии противоречивы. Постройка аэропорта на большом расстоянии от города потребует, вероятно, меньших затрат, хотя время поездки будет больше. Противоречивы также критерии расстояния от города и числа людей, подвергающихся шумовым воздействиям. Как выбрать площадку для аэропорта? Как найти компромисс между критериями?

Подчеркнем некоторые особенности рассматриваемой задачи. Прежде всего она может быть отнесена к так называемым неструктуризованным задачам. Если задачи с объективными моделями (см. предыдущую лекцию) находятся как бы «на границе» с задачами исследования операций, то задачи, похожие на приведенную в нашем примере, «расположены» существенно дальше от этой границы. Хотя все критерии имеют вполне ясное объективное содержание, а оценки по критериям — количественное выражение, нет единой количественной модели, описывающей проблему в целом. Есть лишь набор из трех субъективно (комиссией) определенных критериев. Необходимо выбрать ту из заданных альтернатив (место для строительства), где достигается наиболее предпочтительный с точки зрения комиссии компромисс между критериями. Для решения таких задач строятся модели, описывающие предпочтения ЛПР (в данном случае комиссии), применение которых позволяет сделать лучший выбор.

Эти модели строятся по-разному в различных научных школах в области принятия решений. Мы представим далее три широко известных подхода — многокритериальной теории полезности (MAUT), аналитической иерархии (АНР), отношения превосходства по качеству (ELECTRE). При этом изложим лишь основные идеи этих подходов, отсылая заинтересованного читателя к литературе, приведенной в конце главы.

## 5. Многокритериальная теория полезности (MAUT)

Научное направление MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) отличают следующие особенности [4]:

- 1) строится функция полезности, имеющая аксиоматическое (чисто математическое) обоснование;
- 2) некоторые условия, определяющие форму этой функции, подвергаются проверке в диалоге с ЛПР;
- 3) решается обычно задача из второй группы, а полученные результаты используются для оценки заданных альтернатив.

### 5.1 Основные этапы подхода MAUT

Представим этапы решения задачи при подходе MAUT.

1. Разработать перечень критериев.
2. Построить функции полезности по каждому из критериев.
3. Проверить некоторые условия, определяющие вид общей функции полезности.
4. Построить зависимость между оценками альтернатив по критериям и общим качеством альтернативы (многокритериальная функция полезности).
5. Оценить все имеющиеся альтернативы и выбрать наилучшую.

### 5.2. Аксиоматическое обоснование

Точно так же, как и классическая теория полезности (см. лекцию 2), MAUT имеет аксиоматическое обоснование. Это означает, что выдвигаются некоторые условия (аксиомы), которым должна удовлетворять функция полезности ЛПР. В случае, если условия удовлетворяются, дается математическое доказательство существования функции полезности в том или ином виде. В MAUT эти условия можно разделить на две группы. Первая группа – аксиомы общего характера, идентичные тем, которые использовались в теории полезности.

1. Аксиома, утверждающая, что может быть установлено отношение между полезностями любых альтернатив: либо одна из них превосходит другую, либо они равны.

2. Аксиома транзитивности: из превосходства полезности альтернативы А над полезностью альтернативы В и превосходства полезности В над полезностью С следует превосходство полезности альтернативы А над полезностью альтернативы С.

3. Для соотношений между полезностями альтернатив А, В, С, имеющими вид

$$U(A) > U(B) > U(C),$$

можно найти такие числа  $\alpha$ ,  $\beta$ , которые меньше 1 и больше 0, так что:

$$\alpha U(A) + (1 - \alpha) U(C) = U(B),$$

$$U(A)(1 - \beta) + \beta U(B) > U(B).$$

Аксиома 3 основана на предположении, что функция полезности непрерывна и что можно использовать любые малые части полезности альтернатив.

Вторая группа условий специфична для МАУТ. Они называются аксиомами (условиями) независимости, позволяющими утверждать, что некоторые взаимоотношения между оценками альтернатив по критериям не зависят от значений по другим критериям.

Приведем несколько условий независимости.

1. *Независимость по разности.* Предпочтения между двумя альтернативами, отличающимися лишь оценками по порядковой шкале одного критерия  $C_1$ , не зависят от одинаковых (фиксированных) оценок по другим критериям  $C_2, \dots, C_N$ . На первый взгляд это условие кажется естественным и очевидным. Но возможны случаи, когда оно не выполняется. Так, в статье Р. Хампфриса [5] приведен следующий пример: выбор автомобиля. При примерно одинаковой цене ЛПР предпочитает большую по размеру машину. Однако его предпочтение меняется на обратное, когда он узнает, что у машины не гидравлическая, а механическая коробка передач, что усложняет управление.

2. *Независимость по полезности.* Критерий  $C_1$  называется независимым по полезности от критериев  $C_2, \dots, C_N$ , если порядок предпочтений лотерей, в которых меняются лишь уровни критерия  $C_1$ , не зависит от фиксированных значений по другим критериям. Напомним, что определение лотереи было дано в лекции 2. Как мы увидим далее, лотереи используются при построении функций полезности по отдельным критериям.

3. *Независимости по предпочтению* являются одним из наиболее важных и часто используемых условий. Два критерия  $C_1$  и

$C_2$  независимы по предпочтению от других критериев  $C_3, \dots, C_N$ , если предпочтения между альтернативами, различающимися лишь оценками по  $C_1, C_2$ , не зависят от фиксированных значений по другим критериям.

Приведем пример нарушения условия независимости по предпочтению – выбор дачи для летнего отдыха (табл. 6). Вполне возможно, что альтернатива А предпочтительнее альтернативы В, если по критерию «Расстояние от города» оба варианта имеют оценку «Дача расположена недалеко от города». В то же время, если оба варианта имеют по последнему критерию оценку «Дача расположена далеко от города», вариант В может оказаться предпочтительнее варианта А.

Первые два условия независимости относились к независимости одного критерия от остальных, третье условие – к независимости пары критериев от прочих.

Таблица 6

*Задача выбора дачи для летнего отдыха*

Альтернатива	Критерии		
	Качество дачи (комфортность)	Наличие магазина недалеко от дачи	Расстояние от города
А	Хорошее	Нет магазина	
В	Среднее	Есть магазин	

Судя по литературе, отсутствуют примеры зависимости трех и большего числа критериев от остальных, которая не проявлялась бы в нарушении условия независимости по предпочтению. По мнению известных ученых Г. Фишера и Д. Винтерфельда [6], появление такой зависимости «неопределенно по своей природе и трудно обнаружимо». В связи с этим понятно особое внимание, уделяемое проверке условия независимости по предпочтению.

### 5.3 Следствия из аксиом

Если аксиомы первой группы и некоторые из условий независимости выполнены, то из этого следует строгий вывод о существовании многокритериальной функции полезности в определенном виде.

В качестве примера приведем широко известную теорему Р. Кини [7]. Если условия независимости по полезности и независимости по предпочтению выполнены, то функция полезности является аддитивной

$$U(x) = \sum_{i=1}^N w_i U_i(x) \text{ при } \sum_{i=1}^N w_i = 1$$

либо мультипликативной

$$1 + kU(x) = \prod_{i=1}^N [1 + kw_i U_i(x)] \text{ при } \sum_{i=1}^N w_i \neq 1,$$

где  $U, U_i$  — функции полезности, изменяющиеся от 0 до 1;  $w_i$  — коэффициенты важности (веса) критериев, причем  $0 < w_i < 1$ ; коэффициент  $k > -1$ . Таким образом, многокритериальную функцию полезности можно определить, если известны значения коэффициентов  $w_i, k$ , а также однокритериальные функции полезности  $U_i(x)$ .

Полученный теоретический результат является основой метода, неоднократно использованного для решения практических задач. Обсудим приведенные выше этапы применения этого метода, используя в качестве примера задачу выбора площадки для строительства аэропорта.

#### 5.4. Построение однокритериальных функций полезности

Выше был приведен перечень критериев для оценки вариантов постройки аэропорта. Предположим, что после рассмотрения вариантов разброс оценок по критериям может быть представлен табл. 7.

Зная диапазон изменения оценок по каждому из критериев, построим функцию, определяющую полезность для ЛПР каждой оценки из этого диапазона. Максимальное значение этой функции положим равным единицы, а минимальное — нулю.

Таблица 7

*Разброс оценок вариантов постройки аэропорта*

Критерий	Наихудшее значение	Наилучшее значение
(C <sub>1</sub> ) Стоимость постройки аэропорта	\$ 200 млн	\$ 100 млн
(C <sub>2</sub> ) Время поездки от центра города	90 мин	40 мин
(C <sub>3</sub> ) Количество людей, подвергающихся шумовым воздействиям	50 тыс.	5 тыс.

На рис. 21 приведен пример построения функции полезности ЛПР для критерия «Стоимость постройки аэропорта».

Первоначально известны две точки функции полезности:  $U(\$100 \text{ млн})=1$ ,  $U(\$200 \text{ млн})=0$ . Для нахождения промежуточных точек используются типовые лотереи (см. лекцию 2). В лотерее 1 на рис. 22 (слева) перед ЛПР ставится следующая задача: «Определите эквивалент определенности для лотереи, имеющей с равными вероятностями ( $p=0,5$ ) минимальную и максимальную стоимости постройки». ЛПР предъявляют ряд значений (например, \$120 млн, \$130 млн и т. д.) и спрашивают: выше или ниже данного значения находится, по его мнению, эквивалент определенности. Предположим, что ЛПР остановился на значении \$160 млн. Тогда делается вывод, что  $U=0,5$  соответствует \$160 млн. Аналогично определяются другие значения функции полезности. Так, правая лотерея на рис. 22 позволяет определить точку  $U(\$130 \text{ млн})=0,85$ . Идентичным образом строятся функции полезности для каждого из критериев.

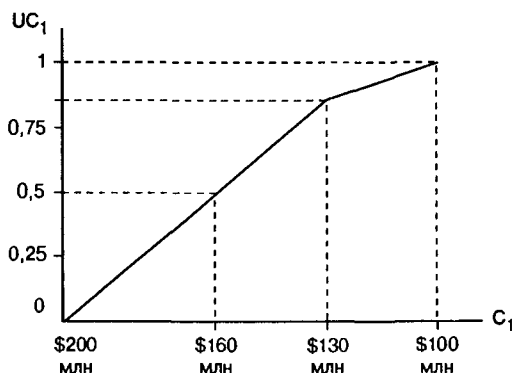


Рис. 21. Функция полезности для критерия  $C_1$  «Стоимость постройки аэропорта»

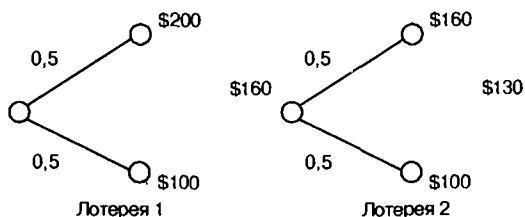


Рис. 22. Типовые лотереи, используемые при построении функции полезности по одному критерию

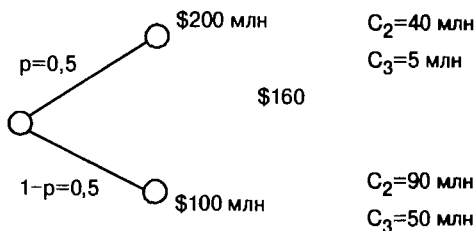


## 5.5 Проверка условий независимости

Для определения общей функции полезности необходимо проверить условия независимости по полезности и независимости по предпочтению.

Проверку условия независимости по полезности можно совместить с предыдущим этапом построения однокритериальных функций полезности.

На рис. 23 приведена левая лотерея из рис. 22. Сначала лицу, принимающему решение, сообщается, что при нахождении эквивалента определенности он должен принять во внимание, что по остальным критериям имеются наилучшие значения (сверху справа на рис. 23). Затем перед ЛПР ставится та же задача, но уже при предположении, что по прочим критериям имеются наихудшие значения (снизу справа на рис. 23). Если эквивалент определенности в двух случаях одинаков, то делается вывод, что критерий не зависит по полезности от прочих критериев.



**Рис. 23. Проверка условий независимости по полезности**

Отметим, что для полноты проверки условия независимости по полезности следует осуществлять эту проверку для всех лотерей (например, для лотереи 2 на рис. 22). Однако часто довольствуются приближенной проверкой – только для первой из лотерей, используемых при построении однокритериальных функций полезности.

При проверке условия независимости по предпочтению рассматривают плоскости, где по осям отложены значения двух критериев. Пример такой плоскости для критериев  $C_1$ ,  $C_2$  приведен на рис. 24. Сначала предполагается, что по прочим критериям (в нашем случае – по критерию  $C_3$ ) имеются наилучшие значения ( $C_3=5$  тыс. человек).

Первоначально ЛПР должен определить свое предпочтение между альтернативами  $[(C_2)_{\min}; (C_1)_{\max}]$  и  $[(C_2)_{\max}; (C_1)_{\min}]$ . В нашем случае ЛПР сравнивает площадки для постройки аэропорта с оценками (40 мин., \$200 млн) и (90 мин., \$100 млн) – две крайние точки А и В на осях, при условии, что  $C_3=5$  тыс. Предположим, что вариант А предпочтительнее. Это означает, что критерий стоимости более важен для ЛПР, чем критерий расстояния. Далее определяется такая точка на шкале критерия  $C_1$ , что варианты А и К

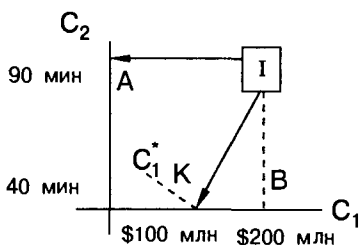


Рис. 24. Проверка условия независимости по предпочтению

одинаково предпочтительны для ЛПР. Иначе говоря, ищется такая стоимость строительства  $C_1^*$ , при которой одинаково предпочтительны варианты (90 мин., \$100 млн) и (40 мин.,  $C_1^*$ ). Затем точно такой же поиск точки безразличия осуществляется при  $C_3=50$  тыс. Если результаты

совпадают, то делается вывод, что пара  $C_1, C_2$  не зависит по предпочтению от третьего критерия.

Для полной проверки условия независимости по предпочтениям следует рассмотреть все пары критериев. Однако при приближенной проверке выбираются один или два наиболее существенных критерия и прочие рассматриваются только в паре с ними [7].

При проверке и первого, и второго условий критерии, независимость от которых проверялась, имели крайние значения. Строго говоря, следовало бы рассмотреть и промежуточные значения, но обычно такая проверка считается достаточной [7].

Что делать, если какие-то из условий независимости не выполняются? Теория не дает единственного ответа на этот вопрос. Предлагается определить группу независимых критериев, стоимость функции полезности для подгрупп зависимых и независимых критериев [7] и общую функцию полезности «по частям» либо переформулировать задачу [8]. Можно сказать, что нарушение условий независимости существенно усложняет задачу. Поэтому в дальнейшем мы предполагаем, что условия независимости выполняются.

## 5 6. Определение весовых коэффициентов (коэффициентов важности) критериев

В МАУТ существенно используется понятие весов (коэффициентов важности) критериев. Считается, что ЛПР может найти коэффициенты — числа, которые определяют важность критериев. Отношения между весами критериев устанавливаются поиском точек безразличия на плоскостях двух критериев. В отличие от проверки условий независимости по предпочтению, по осям упорядочиваются значения критериев от худших к лучшим.

На рис. 25 показана плоскость критериев  $C_1$ ,  $C_2$ . Альтернативы А и К находятся в отношении безразличия, которое определяется так же, как и при проверке условия независимости по предпочтению (см. рис. 24).

В точке равновесия полезности альтернатив равны, что позволяет записать  $U(\$200 \text{ млн}, 40 \text{ мин.}) = U(\$170 \text{ млн}, 90 \text{ мин.})$ .

Отсюда, используя полученные ранее однокритериальные функции полезности, находим  $w_2 = 0,4w_1$ . Аналогичным образом определяется соотношение между весами критериев  $C_1$  и  $C_3$ . Пусть  $w_3 = w_1$   $U(\$150 \text{ млн}) = 0,6w_1$ . Итак, мы выразили веса всех критериев через вес наиболее важного из них и упорядочили критерии по важности.

Для нахождения численного значения веса критерия  $C_1$  (и, следовательно, всех критериев) ЛПР предлагается сравнить две

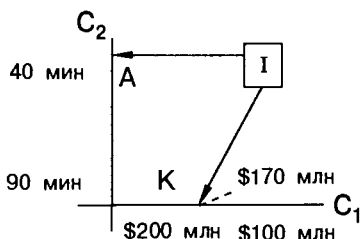


Рис. 25. Определение отношения между весами критериев  $C_1$  и  $C_2$

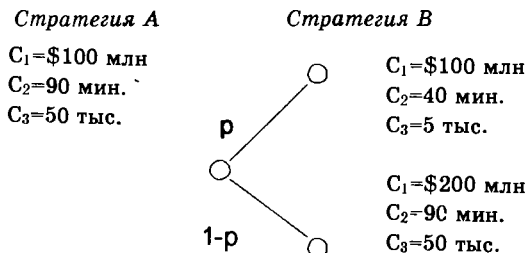


Рис 26. Определение коэффициента  $w_1$

стратегии, представленные на рис 26, и определить вероятность  $p$ , при которой обе стратегии равноценны.

Предположим, что такое  $p$  найдено. Тогда  $U(A)=U(B)$ , или  $w_1=p$ . Пусть  $w_1=0,55$ . Тогда  $w_2=0,22$ ;  $w_3=0,33$ .

### 5.7. Определение полезности альтернатив

После нахождения весов критериев и построения однокритериальных функций полезности задача решена. Действительно, найдена общая функция полезности. В соответствии с теоретическими результатами остается установить вид функции полезности. В нашем примере сумма коэффициентов важности критериев

$$\sum_{i=1}^3 w_i = 1,1.$$

Считая полученное значение достаточно близким к единице, выбираем аддитивную форму представления функции полезности:

$$U(x) = \sum_{i=1}^n w_i U_i(x).$$

Зная оценки альтернатив (вариантов площадок), можем подставить их в эту формулу, определить полезность каждой альтернативы, сравнить полезности и выбрать альтернативу с наибольшей полезностью.

### 5.8. Общая характеристика подхода MAUT

Подчеркнем положительные стороны подхода MAUT. Прежде всего построена единая стройная математическая теория, позволяющая обосновать конкретный вид общей функции полезности в зависимости от предпочтений ЛПР. Целостное здание этой теории описано в широко известных книгах Х. Райфы и Р. Кини [4,7]. Там же представлены и практические задачи, решенные путем подхода MAUT. Отметим также, что хотя построение общей функции полезности требует достаточно много времени и усилий ЛПР, полученный результат позволяет оценить любые (в том числе и вновь появляющиеся) альтернативы.

Два основных недостатка, связанные с подходом MAUT, стали очевидными в настоящее время. Во-первых, предполага-

ется (неявно), что человек может делать точные количественные измерения. Это далеко не так. Например, психологические исследования показали, что нет надежного способа количественного измерения весов критериев [9]. Во-вторых, подход МАУТ требует от ЛПР «немедленного» назначения всех основных параметров, не давая ему возможности провести исследования проблемы привычным для человека методом «проб и ошибок». Как отмечается в известной книге Д. Винтерфельда и В. Эдвардса [10], трудно предположить, что полезности и вероятности просто находятся в головах ЛПР в ожидании, что их извлекут оттуда.

## **6. Подход аналитической иерархии**

Подход аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process – АНР) широко известен в настоящее время. Мы можем найти в журналах оживленные дискуссии между противниками

В п. 3 данной лекции было введено понятие различных групп задач принятия решений. Согласно этим определениям, метод МАУТ наиболее целесообразен при решении задач второй группы. Действительно, построение функции полезности осуществляется независимо от того, заданы или нет конкретные альтернативы. Ясно, что одни и те же диапазоны значений критериев возможны при различных альтернативах. Кроме того, диапазоны могут быть заданы без указания реальных альтернатив, как это бывает во второй группе задач принятия решений.

При подходе МАУТ одни и те же усилия ЛПР по построению функции полезности могут быть затрачены при большом и малом числе альтернатив. Не всегда такой подход является обоснованным. В случае небольшого числа заданных альтернатив (задачи первой группы) представляется разумным направить усилия ЛПР на сравнение только заданных альтернатив. Именно такая идея лежит в основе метода АНР [11].

### **6.1. Основные этапы подхода АНР**

Постановка задачи, решаемой с помощью метода АНР, заключается обычно в следующем.

*Дано:* общая цель (или цели) решения задачи; критерии оценки альтернатив; альтернативы.

*Требуется:* выбрать наилучшую альтернативу.

Подход АНР состоит из совокупности этапов.

1. Первый этап заключается в структуризации задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цели – критерии – альтернативы.

2. На втором этапе ЛПР выполняет попарные сравнения элементов каждого уровня. Результаты сравнений переводятся в числа.

3. Вычисляются коэффициенты важности для элементов каждого уровня. При этом проверяется согласованность суждений ЛПР.

4. Подсчитывается количественный индикатор качества каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива.

Рассмотрим эти этапы подробнее применительно к основному методу АНР, разработанному Т.Саати [11], используя для иллюстрации приведенный выше пример выбора площадки для строительства аэропорта.

## 6 2. Структуризация

Предположим, что комиссия по выбору места постройки аэропорта предварительно отобрала из нескольких возможных три варианта: А, В, К. Тогда структура решаемой задачи может быть представлена в виде, показанном на рис. 27.

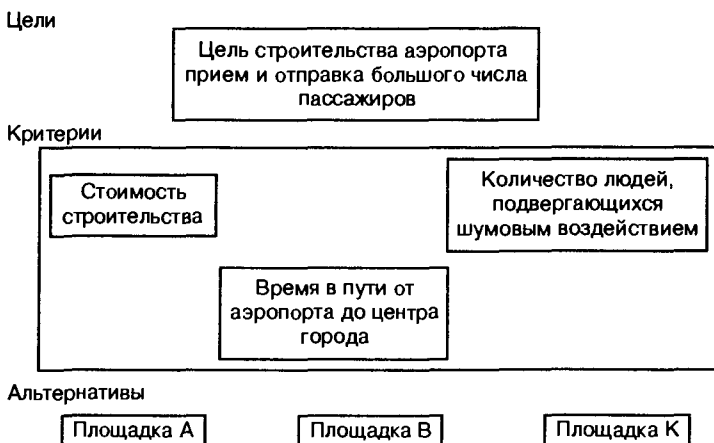


Рис. 27. Иерархическая схема проблемы выбора места для аэропорта

### 6.3. Попарные сравнения

При попарных сравнениях в распоряжение ЛПР дается шкала словесных определений уровня важности, причем каждому определению ставится в соответствие число (табл. 8).

Таблица 8  
Шкала относительной важности

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное или сильное превосходство	5
Значительное (большое) превосходство	7
Очень большое превосходство	9

При сравнении элементов, принадлежащих одному уровню иерархии, ЛПР выражает свое мнение, используя одно из приведенных в табл. 8 определений. В матрицу сравнения заносится соответствующее число. Матрица сравнений критериев выбора площадки для аэропорта приведена в табл. 9. Матрица соот-

Таблица 9  
Матрица сравнений для критериев

Критерии	С <sub>1</sub> Стоимость	С <sub>2</sub> Время в пути до центра города	С <sub>3</sub> Количество людей, под- вергающихся шумовым воз- действиям	Собст- венный вектор
С <sub>1</sub> Стоимость	1	5	3	2,47
С <sub>2</sub> Время в пути до центра города	1/5	1	3	0,848
С <sub>3</sub> Количество людей, подвергающихся шумовым воздействиям	1/3	1/3	1	0,48

ветствует следующим предпочтениям гипотетического ЛПР: критерий «Стоимость» существенно превосходит критерий «Время в пути» и умеренно превосходит критерий «Количество людей, подвергающихся шумовым воздействиям»; критерий  $C_2$  умеренно превосходит критерий  $C_3$ .

На нижнем уровне иерархической схемы сравниваются заданные альтернативы (конкретные площадки) по каждому критерию отдельно. Приведем эти сравнения в табл. 10.

Таблица 10

*Относительная важность альтернатив  
по отдельным критериям*

По критерию $C_1$ (Стоимость)					
Альтернатива	A	B	K	Собственный вектор	Вес
A	1	7	3	2,76	0,69
B	1/7	1	3	0,755	0,19
K	1/3	1/3	1	0,48	0,12
По критерию $C_2$ (Время в пути до центра города)					
A	1	1/7	1/5	0,31	0,07
B	7	1	3	2,76	0,65
K	5	1/3	1	1,18	0,28
По критерию $C_3$ (Количество людей, подвергающихся шумовым воздействиям)					
A	1	5	5	2,93	0,68
B	1/5	1	1/5	0,34	0,09
K	1/5	5	1	1	0,23

#### 6.4. Вычисление коэффициентов важности

Таблицы 9 и 10 позволяют рассчитать коэффициенты важности соответствующих элементов иерархического уровня. Для этого нужно вычислить собственные векторы матрицы, а затем пронормировать их. Формула для этих вычислений: извлекается корень  $n$ -й степени ( $n$  – размерность матрицы сравнений) из произведений элементов каждой строки.

Так, из табл. 9 определяются коэффициенты важности критериев. В последнем столбце таблицы приведены значения собственных векторов. Нормирование этих чисел дает:  $w_1=0,65$ ;  $w_2=0,22$ ;  $w_3=0,13$ , где  $w_i$  – вес  $i$ -го критерия.



Таким же способом на основе табл. 10 можно рассчитать важность каждой из площадок по каждому из критериев. В таблице приведены веса соответствующей площадки по каждому из критериев.

В книге Т. Саати (автора метода АНР) дается способ проверки согласованности суждений ЛПР при заполнении каждой из матриц — путем сравнения со случайно заполненной матрицей. Ясно, что при сравнительно небольших ошибках ЛПР условие согласованности выполняется.

### 6.5. Определение наилучшей альтернативы

Синтез полученных коэффициентов важности осуществляется по формуле

$$S_j = \sum_{i=1}^N w_i V_{ji},$$

где  $S_j$  — показатель качества  $j$ -й альтернативы;  $w_i$  — вес  $i$ -го критерия;  $V_{ji}$  — важность  $j$ -й альтернативы по  $i$ -му критерию.

Для трех площадок проведенные вычисления позволяют определить:

$$S_A = 0,65 \otimes 0,69 + 0,22 \otimes 0,07 + 0,13 \otimes 0,68 = 0,552;$$

$$S_B = 0,65 \otimes 0,19 + 0,22 \otimes 0,65 + 0,13 \otimes 0,09 = 0,278;$$

$$S_K = 0,65 \otimes 0,12 + 0,22 \otimes 0,28 + 0,13 \otimes 0,23 = 0,17.$$

Итак, альтернатива А оказалась лучшей.

### 6.6. Общая характеристика подхода АНР

Достоинством метода АНР, привлекающим внимание многих пользователей, является направленность на сравнение реальных альтернатив.

Отметим, что метод АНР может применяться и в тех случаях, когда эксперты (или ЛПР) не могут дать абсолютные оценки альтернатив по критериям, а пользуются более слабыми сравнительными измерениями. Метод АНР позволяет решить ряд практических задач [11].

Недостатки метода АНР неоднократно обсуждались в статьях различных авторов. Среди них наиболее существенными являются два. Прежде всего введение новой, недоминирующей альтернативы может в общем случае привести к изменению предпочтений между двумя ранее заданными альтернативами (rank reversals) [12]. Весьма существенной проблемой

является, на наш взгляд, необоснованный переход к числам при проведении измерений, оторванность метода объединения оценок от предпочтений ЛПР.

Дальнейшее развитие подход АНР получил в виде методов мультипликативной аналитической иерархии [13] и метода MACBETH [14].

## **7. Методы ELECTRE ранжирования многокритериальных альтернатив**

В конце 60-х годов группа французских ученых во главе с проф. Б. Руа предложила подход к попарному сравнению многокритериальных альтернатив, не основанный на теории полезности. В отличие от MAUT оценка каждой альтернативы является не абсолютной, а относительной (по сравнению с другой альтернативой). Так возник метод ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Realite – исключение и выбор, отражающие реальность). В настоящее время разработан ряд методов семейства ELECTRE [15].

Методы ELECTRE направлены на решение задач с уже заданными многокритериальными альтернативами. Следовательно, они принадлежат к методам первой группы согласно приведенной выше классификации. В отличие от метода АНР в методах ELECTRE не определяется количественно показатель качества каждой из альтернатив, а устанавливается лишь условие превосходства одной альтернативы над другой.

Постановка задачи обычно имеет следующий вид:

*Дано:*  $N$  критериев со шкалами оценок (обычно количественные), веса критериев (обычно целые числа), альтернативы с оценками по критериям.

*Требуется:* выделить группу лучших альтернатив.

### **7.1 Основные этапы методов ELECTRE**

1. На основании заданных оценок двух альтернатив подсчитываются значения двух индексов: согласия и несогласия. Эти индексы определяют согласие и несогласие с гипотезой, что альтернатива  $A$  превосходит альтернативу  $B$ .

2. Задаются уровни согласия и несогласия, с которыми сравниваются подсчитанные индексы для каждой пары альтернатив. Если индекс согласия выше заданного уровня, а индекс несогласия – ниже, то одна из альтернатив превосходит другую. В противном случае альтернативы несравнимы.

3. Из множества альтернатив удаляются доминируемые. Оставшиеся образуют первое ядро. Альтернативы, входящие в ядро, могут быть либо эквивалентными либо несравнимыми.

4. Вводятся более «слабые» значения уровней согласия и несогласия (меньший по значению уровень согласия и больший уровень несогласия), при которых выделяются ядра с меньшим количеством альтернатив.

5. В последнее ядро входят наилучшие альтернативы. Последовательность ядер определяет упорядоченность альтернатив по качеству.

Рассмотрим эти этапы подробнее, используя в качестве иллюстрации все тот же пример выбора площадки для постройки аэропорта.

## 7 2. Индексы согласия и несогласия

В различных методах семейства ELECTRE индексы согласия и несогласия строятся по-разному. Основные идеи построения этих индексов далее будут показаны на примере метода ELECTRE1.

Каждому из  $N$  критериев ставится в соответствие целое число  $p$ , характеризующее важность критерия. Б. Руа предложил рассматривать  $p$  как «число голосов» членов жюри, голосующих за важность данного критерия.

Выдвигается гипотеза о превосходстве альтернативы  $A$  над альтернативой  $B$ . Множество  $I$ , состоящее из  $N$  критериев, разбивается на три подмножества:

$I^+$  – подмножество критериев, по которым  $A$  предпочтительнее  $B$ ;

$I^-$  – подмножество критериев, по которым  $A$  равноценно  $B$ ;

$I^-$  – подмножество критериев, по которым  $B$  предпочтительнее  $A$ .

Далее формулируется индекс согласия с гипотезой о превосходстве  $A$  над  $B$ . (В других методах семейства ELECTRE используются индексы сильного и слабого превосходства.)

Индекс согласия подсчитывается на основе весов критериев. Так, в методе ELECTRE1 этот индекс определяется как отношение суммы весов критериев подмножеств  $I^+$  и  $I^-$  к общей сумме весов:

$$C_{AB} = \frac{\sum_{i \in I^+, I} w_i}{\sum_{i=1}^N w_i}.$$

Индекс несогласия  $d_{AB}$  с гипотезой о превосходстве А над В определяется на основе самого «противоречивого» критерия – критерия, по которому В в наибольшей степени превосходит А.

Чтобы учесть возможную разницу длин шкал критериев, разность оценок В и А относят к длине наибольшей шкалы:

$$d_{AB} = \max_{i \in I} \frac{l'_B - l'_A}{L_i},$$

где  $l'_A, l'_B$  – оценки альтернатив А и В по  $i$ -му критерию;  $L_i$  – длина шкалы  $i$ -го критерия.

Укажем очевидные свойства индекса согласия:

1)  $0 \leq c_{AB} \leq 1$ ;

2)  $c_{AB} = 1$ , если подмножество  $I^+$  – пусто;

3)  $c_{AB}$  сохраняет значение при замене одного критерия на несколько с тем же общим весом.

Приведем свойства индекса несогласия:

1)  $0 \leq d_{AB} \leq 1$ ;

2)  $d_{AB}$  сохраняет значение при введении более детальной шкалы по  $i$ -му критерию при той же ее длине.

Введенные индексы используются при построении матриц индексов согласия и несогласия для заданных альтернатив.

Предположим, что в задаче выбора места для строительства аэропорта заданы альтернативы:

А (\$180 млн, 70 мин., 10 тыс.); С (\$160 млн, 55 мин., 20 тыс); В (\$170 млн, 40 мин., 15 тыс.); D (\$150 млн, 50 мин., 25 тыс.).

Пусть веса критериев равны:  $w_1 = 3$ ;  $w_2 = 2$ ;  $w_3 = 1$ . Сохраним те же длины шкал:  $L_1 = 100$ ;  $L_2 = 50$ ;  $L_3 = 45$ .

Матрица индексов согласия приведена как табл. 11, а матрица индексов несогласия – как табл. 12.

Таблица 11  
Значения индексов согласия  
для примера

	А	В	С	Д
А	*	1/6	1/6	1/6
В	5/6	*	3/6	3/6
С	5/6	3/6	*	1/6
Д	5/6	3/6	5/6	*

Таблица 12  
Значения индексов несогласия  
для примера

	А	В	С	Д
А	*	0,6	0,3	0,4
В	0,11	*	0,1	0,2
С	0,22	0,3	*	0,1
Д	0,33	0,22	0,11	*

### 7.3 Бинарные отношения. Выделение ядер

В методе ELECTRE 1 бинарное отношение превосходства задается уровнями согласия и несогласия. Если  $s_{AB} \geq c_1$  и  $d_{AB} \leq d_1$ , где  $c_1, d_1$  – заданные уровни согласия и несогласия, то альтернатива А объявляется лучшей по сравнению с альтернативой В. Если же при этих уровнях сравнить альтернативы не удалось, то они объявляются *несравнимыми*.

С методологической точки зрения введение понятия несравнимости было важным этапом развития теории принятия решений. Если оценки альтернатив в значительной степени противоречивы (по одним критериям одна намного лучше другой, а по другим – наоборот), то такие противоречия никак не компенсируются и такие альтернативы сравнивать нельзя. Понятие несравнимости исключительно важно и с практической точки зрения. Оно позволяет выявить альтернативы с «контрастными» оценками, как заслуживающие специального изучения.

Похожие идеи используются и в других методах семейства ELECTRE.

Важно подчеркнуть, что уровни коэффициентов согласия и несогласия, при которых альтернативы сравнимы, представляют собой инструмент анализа в руках ЛПР и консультанта. Задавая эти уровни, постепенно понижая требуемый уровень коэффициента согласия и повышая требуемый уровень коэффициента несогласия, они исследуют имеющееся множество альтернатив.

При заданных уровнях на множестве альтернатив выделяется *ядро* недоминируемых элементов, которые находятся либо в отношении несравнимости, либо в отношении эквивалентности. При изменении уровней из данного ядра выделяется меньшее ядро и т. д. Аналитик предлагает ЛПР целую серию возможных решений проблемы в виде различных ядер. В конечном итоге можно получить одну лучшую альтернативу. При этом значения индексов согласия и несогласия характеризуют степень «насилия» над данными, при которых делается окончательный вывод.

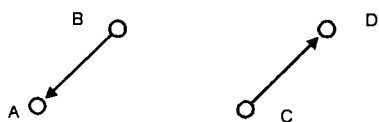


Рис. 28. Выделение первого ядра

Обратимся к нашему примеру. Зададим первые уровни согласия и несогласия:  $c_1 \geq 5/6$  и  $d_1 \leq 0,11$ . Отношения между альтернативами представлены на рис. 28.

В первое ядро входят альтернативы В и С, исключаются альтернативы А и D, что легко устанавливается с помощью табл. 10 и 11. Альтернативы В и С, входящие в ядро, несравнимы при введенных уровнях  $s_1$  и  $d_1$  (согласия и несогласия). Их оценки противоречивы: альтернатива С превосходит альтернативу В по первому критерию, но существенно уступает по двум другим критериям. Изменим уровни согласия и несогласия:  $s_2 \geq 0,5$ ;  $d_2 \leq 0,2$ . Легко убедиться, что при введенных уровнях альтернатива В оказывается наилучшей из четырех альтернатив.

#### 7.4. Общая характеристика подхода

Важным достоинством методов ELECTRE является поэтапность выявления предпочтений ЛПП в процессе назначения уровней согласия и несогласия и изучения ядер. Детальный анализ позволяет ЛПП сформировать свои предпочтения, определить компромиссы между критериями. Использование отношения несравнимости позволяет выделить пары альтернатив с противоречивыми оценками, остановиться на ядре, выделение которого достаточно обоснованно с точки зрения имеющейся информации. Трудности при применении методов ELECTRE связаны с назначением ЛПП весов. В ряде случаев при выделении ядер могут возникать циклы.

### 8. Системы поддержки принятия решений

Каждый из представленных выше подходов – MAUT, АНР, ELECTRE – реализован в виде компьютерных систем поддержки принятия решений, которые широко рекламируются и имеются в продаже. Существует несколько систем, основанных на MAUT: Logical Decisions [16], DECAID [17]. Подход АНР реализован в виде систем EXPERT CHOICE, MACBETH [14], REMBRANDT [18]. Существует несколько компьютерных систем, реализующих методы из семейства ELECTRE [19]. В [4, 11, 15] описаны многочисленные применения методов MAUT, АНР и ELECTRE.

### Выводы

- 1 Существуют две группы задач принятия решений. В задачах первой группы осуществляется анализ заданных альтернатив. В задачах второй группы находится решающее правило, позволяющее оценить любые альтернативы. Разработаны многокри-

териальные методы решения задач, принадлежащих к первой и второй группам

2. Многокритериальная теория полезности (MAUT) представляет собой дальнейшее развитие теории полезности (см лекцию 2). Методы MAUT имеют аксиоматическое обоснование вводятся аксиомы и доказывается существование функции полезности в той или иной форме. Особо важную роль играют аксиомы (условия) независимости, определяющие, что отношения между частью критериальных оценок альтернатив не зависят от фиксированных значений по другим критериям
3. Методы MAUT позволяют определить полезность каждой из альтернатив. Наиболее целесообразно применение этих методов для задач первой группы с большим числом альтернатив.
4. Широко известен подход аналитической иерархии (АНП). В соответствии с этим подходом для заданной группы альтернатив определяются путем попарных сравнений коэффициенты важности критериев, целей (если их несколько), альтернатив (для каждого из критериев). Общая ценность альтернативы определяется путем суммирования произведений коэффициентов важности.
5. Одним из первых подходов к сравнению многокритериальных альтернатив является подход, основанный на определении бинарного отношения превосходства альтернатив по качеству (outranking relation). Этот подход реализован в виде совокупности методов ELECTRE. Методы ELECTRE позволяют определять для каждой пары альтернатив индексы согласия и несогласия с гипотезой, что одна из альтернатив превосходит другую. При заданных уровнях согласия и несогласия две альтернативы могут находиться в отношениях превосходства, эквивалентности и несравнимости. Последовательное выделение ядер позволяет упорядочить альтернативы по качеству.

### Список литературы

1. Simon H. A. The New Science of Management Decision N. Y.: Harper and Row Publ., 1960.
2. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
3. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979.
4. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
5. Humphreys P. C. Application of multiattribute utility theory // H. Jungerman and G. de Zeeuw (Eds.). Decision making and change in human affairs. Dordrecht: Reidel, № 1977.
6. Winterfeldt D. von and G.W.Fischer Multiattribute utility theory: Models and assessment procedures // D. Wendt and C. Vlek (Eds.). Utility, probability and human decision making. Amsterdam: Reidel, № 1975.
7. Кини Р.Л. Размещение энергетических объектов: выбор решений. М.: Энергоатомиздат, 1983.

8. McCrimman K.R., Wehrung D.A. Trade-off analysis: indifference and preferred proportion. Workshop on Decision Making with Multiple Conflicting Objectives. IIASA. Laxenburh, 1975.
9. Borcherdig K., Schmeer S., Weber M. Biases in multiattribute weight elicitation // J. P. Caverni, M. Bar-Hillel, F. N. Barron, H. Jungermann, Eds. Contributions to Decision Research. North-Holland, 1993.
10. Winterfeldt D. von, Edwards W. Decision Analysis and Behavioral Research. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
11. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радно и связь, 1991.
12. Stam A., Silva A.P. Stochastic judgements in the AHP : the measurement of rank reversal probabilities. Rep.WP-94-101. IIASA. Laxenburg ,1994.
13. Lootsma F.A. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART // J. Multi-Criteria Decision Analysis. 1993. V.2.
14. Bana e Costa C.A. , Vansnick J. C. MACBETH-An interactive path towards the construction of cardinal value functions // International Transactions in Oper. Res.: V.1. № 4.
15. Roy B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1996.
16. Smith G. R., F. Speiser. Logical Decision: Multi-Measure Decision Analysis Software. Golden. CO: PDQ Printing, 1991.
17. Pitz G.F. DECAID Computer Program. Carbondale. IL. Univ. Of Southern Illinois, 1987.
18. Olson D.L., Fliendner G., Currie K. Comparison of the REMBRANDT system with analytic hierarchy process // European J. Oper. Res. 1995. V.32.
19. Vallee D., Zielniewicz P. ELECTRE 3-4, version 3x. Guide d'Utilisation. Document LAMSADE N 85. Paris: Universite de Paris Dauphine, 1994.

### **Контрольное задание**

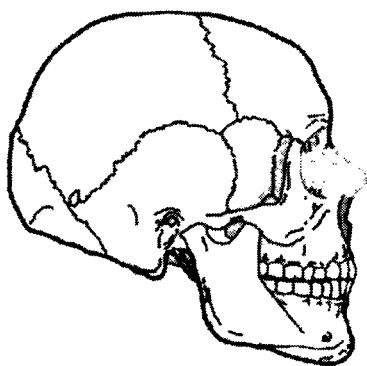
**Дайте определения следующих ключевых понятий:**

*Многокритериальная теория полезности*  
*Условия независимости*  
*Независимость по предпочтению*  
*Аддитивный и мультипликативный виды функции полезности*  
*Проверка условий независимости*  
*Определение коэффициентов важности критериев*  
*Построение функции полезности по отдельным критериям*  
*Определение полезности альтернатив*  
*Основные этапы подхода аналитической иерархии*  
*Построение иерархии*  
*Матрицы сравнений*  
*Вычисление коэффициентов важности*  
*Определение наилучшей альтернативы*  
*Подход ELECTRE*  
*Основные этапы подхода ELECTRE*  
*Понятие несравнимости альтернатив*  
*Индексы согласия и несогласия*  
*Выделение ядер*  
*Определение лучших альтернатив*





**Человеческая  
система  
переработки  
информации и  
ее связь  
с принятием  
решений**



*Возможность человеческого ума формулировать и решать сложные проблемы очень мала по сравнению с размером проблем, решение которых необходимо для объективно рационального поведения в реальном мире или даже для разумного приближения к такой объективной рациональности.*

***H. A. Simon.*** Models of Man: Social and Rational

## **ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ**

### **Модель человеческого мозга «Грандом», созданная в Монтландии**

*«Сегодня у нас вводная лекция и экскурсия в Институт Мозга, – начал очередной профессор.*

*Знаете ли вы, какой интерес для туристов-иностранцев, посещающих нашу столицу, представляет экскурсия в Институт Мозга, где они своими глазами могут увидеть фантастических размеров “Грандом” – уникальную модель человеческого мозга? В этой действующей модели воссозданы все нейроны, все их бесчисленные взаимосвязи, что позволяет проникнуть в «тайну тайн» великой природы – в механизм мыслительного процесса, ежеминутно, ежечасно осуществляемого нашим мозгом*

*И вам несказанно повезло, друзья мои: у вас будет возможность поработать с этой удивительной моделью! Университет Власти выделил значительную сумму за доступ к этому устройству.*

*А сейчас расскажу об истории создания “Грандом”.*

*В течение многих и многих лет психологи-когнитологи и нейрофизиологи производили свои исследования изолированно, независимо друг от друга. Были, конечно, отдельные попытки связать поведение людей с работой мозга, но не существовало приборов, а главное – не было специалистов, знающих обе эти области и одинаково свободно владеющих необходимыми методами исследований.*

*Положение радикально изменилось примерно 100 лет тому назад, когда был изобретен позитограф – прибор, регистрирующий возбуждение отдельных нейронов. Оценив возможности нового направления, Министерство исследований Монтландии субсидировало специальную научную программу, которая позволила в конечном итоге создать “Грандом”.*

*В этой модели сотни быстрых компьютеров согласованно управляют работой отдельных участков мозга и их взаимодействием. Итак, наш “Грандом” – это гигантская копия человеческой головы. Он свободно узнает предметы, разговаривает, принимает самостоятельные решения. И мы можем отслеживать на специальных дисплеях, как происходит работа мозга, как она связана с когнитивным процессом*

*Вот “Грандом” «созерцает» цветную картинку, и мы можем следить за возбуждением нейронов по разноцветным вспышкам, пробегающим на экране дисплея. Компьютеры записывают и затем воспроизводят (в замедленном темпе) работу мозга при решении логических задач, при чтении текстов, при восприятии зрительных образов, при отгадывании головоломок.*

*Исследования, которые привели к созданию “Грандом”, позволяют понять человека, принимающего решения. Человеческие*

ошибки и неудачные попытки увидеть проблему в целом связаны с самой структурой мозга, с его ограниченной способностью одновременно сосредоточиться на многих факторах, оценивая их сущность и определяя суммарное суждение на основе этих оценок. Причем дело здесь не в размере мозга, а именно в его функциональных возможностях, предопределенных самой природой.

Благодаря "Грандом" можно увидеть и как работает наш мозг при сравнении вариантов решений, имеющих противоречивые оценки по многим критериям. Наблюдая и анализируя этот процесс, мы можем понять, насколько сложны эти задачи, как пытается мозг обойти эти сложности, как в процессе обработки теряется часть информации и как возникают ошибки.

Работа с "Грандом" позволила познать материальные основы логической деятельности человека. Но она привела также к парадоксальному открытию: многие человеческие чувства и эмоции не рождаются в мозгу, а лишь вмешиваются в его работу. Любовь к прекрасному, чувства вины и сострадания, появление ощущения самого себя в мире – все это нельзя объяснить только деятельностью мозга».

## **Лекция 5**

### **ЧЕЛОВЕЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ЕЕ СВЯЗЬ С ПРИНЯТИЕМ РЕШЕНИЙ**

Рассмотрим одну из наиболее актуальных и важных проблем в принятии решений — проблему организации человеческой системы переработки информации. И понимание мира, и ощущение себя как личности связано с человеческой системой переработки информации. Эту систему на разных уровнях изучают представители разных научных дисциплин. Мы будем говорить здесь в первую очередь о психологии.

Психологию можно определить как научное изучение поведения и умственных процессов человека. Психология охватывает широкий спектр проблем: от психофизиологии до социальной психологии.

Изучением человеческой системы переработки информации занимается когнитивная психология. Множество экспериментов, выполненных психологами в разных странах мира за последние 30 лет, позволили получить массу интересных сведений о восприятии, о памяти, о работе человеческого мозга. Мы выделим те результаты, которые непосредственно относятся к проблеме принятия решений человеком.

#### **1. Этапы переработки информации, типы памяти**

Принято различать три основных этапа переработки информации в памяти: получение информации из внешнего мира (кодирование), сохранение информации в памяти (хранение) и получение информации из памяти (извлечение). Например, вы видите удивительно красивую радугу и запоминаете это явление (кодирование). Через некоторое время (хранение) вы рассказываете об этом явлении другим людям (извлечение).

Психологи выделяют разные типы памяти для хранения информации в течение короткого и длительного периодов времени: кратковременную память (КП) и долговременную память (ДП). Далее мы остановимся на этих типах памяти подробнее. Кроме того, различают также память для хранения разной по характеру информации (факты или умения). Например, навыки управления автомобилем хранятся в иной памяти, чем формальное знание правил дорожного движения. Есть данные, что эти два типа знаний об окружающем мире находятся в разных частях головного мозга.

## **2. Модель памяти**

На наш взгляд, наиболее интересной и правдоподобной является модель памяти, предложенная Р. Актинсоном и Р. Шифриным [1]. Достоинством этой модели с нашей точки зрения является то, что она хорошо объясняет экспериментальные результаты по решению человеком задач переработки информации [2]. Согласно этой модели существуют три вида памяти: сенсорная, кратковременная и долговременная. Виды памяти различаются временем удержания и объемом запоминаемого материала, способом кодирования и уровнем организации хранимой информации. Информация из внешнего мира поступает в сенсорные регистры, где хранится около трети секунды. Далее она поступает в кратковременную память, где подвергается кодированию и может храниться до 30 с (а при повторениях — существенно больше). Без повторений информация или вытесняется другой информацией, или угасает. Через КП информация может поступать в долговременную память. Последнюю можно представить себе как неограниченное по объему хранилище, в котором информация может храниться сколь угодно долго.

Эта модель, как и ряд других, возникла на базе так называемой компьютерной метафоры, которая проводит параллель между устройством компьютера (ввод информации, оперативная память, запоминающие устройства) и устройством человеческой системы переработки информации.

Несмотря на простоту компьютерной метафоры, она оказалась удивительно удачной для объяснения результатов различных психологических экспериментов.

## **3. Кратковременная память**

По мнению большинства психологов, именно в кратковременной памяти человека происходят процессы принятия решений. В соответствии с моделью в кратковременную память поступает информация как из внешнего окружения (через сенсорную память), так и из долговременной памяти. Содержание кратковременной памяти иногда отождествляется с содержанием сознания, так как человек контролирует операции над информацией, хранимой в кратковременной памяти.

### 3.1 Три этапа переработки информации в кратковременной памяти

Мы подробно остановимся на переработке информации в кратковременной памяти как на проблеме, крайне важной для принятия решений. Существует много интересных экспериментов и фактов, характеризующих три основных этапа переработки информации в КП: кодирование, хранение, извлечение.

#### 3.2 Кодирование

Как человек кодирует информацию? Пусть вам показывают листок бумаги, на котором написана фамилия: Иванов. Что вы запомнили — написание букв или их произношение? Исследования показывают, что мы чаще всего запоминаем звуки, соответствующие буквам, т. е. используем при запоминании вербального материала акустическое кодирование. Опишем некоторые эксперименты, на которых основано это утверждение [3].

В экспериментах испытуемым показывали последовательность из шести букв (например, БРЛКСМ) в течение 1–2 с. Затем субъект должен был через некоторое время вспомнить эту последовательность. Оказалось, что неправильно воспроизведенная буква была по звучанию близка к правильной (например, с–з, б–п).

Интересный эксперимент осуществил профессор Г. Саймон с китайскими студентами. Китайцы вместо букв используют иероглифы, причем несколько иероглифов могут иметь одинаковое название. Когда китайцам показывали на короткое время последовательность иероглифов, они затем воспроизводили правильно шесть из них (в среднем), если иероглифы назывались по-разному, и только три, если названия были одинаковые (и, следовательно, не могли быть кодированы по-разному акустически).

#### 3.3. Хранение

Важнейшей характеристикой кратковременной памяти является ее объем, определяемый количеством одновременно сохраняемых в ней элементов. Основной вывод, к которому приходят авторы различных работ, заключается в том, что объем кратковременной памяти ограничен.

Многочисленные эксперименты по изучению возможности человека перерабатывать информацию и различать уровни измерения стимулов (интенсивности звука, оттенков цвета и т.п.)

обобщены в знаменитой статье Дж.Миллера [4] о «магическом числе  $7\pm 2$ ». В этой статье на большом фактическом материале сделан вывод, что пропускная способность человека как измерительного устройства ограничена. Так, например, при различении звуковых тонов нельзя давать испытуемому более шести тонов, если мы хотим, чтобы он не ошибался.

Миллер определил предел пропускной способности человека числом  $7\pm 2$  бинарных единиц (битов). В экспериментах удалось определить также объем непосредственной (КП) памяти человека через число запоминаемых отрезков информации. Дж. Миллер назвал запоминаемый отрезок информации *чанком* (chunk). Количество чанков в самых разных экспериментах не превышало числа  $7\pm 2$ , причем чанком может быть как буква, так и фраза — нечто, воспринимаемое испытуемым как один смысловой образ. Так, машинистка запоминает при перепечатывании незнакомого текста не более семи букв [5]. В иных задачах на запоминание чанк может быть сложным смысловым образом.

Подробно вопрос о размере чанка исследовал на себе Г. Саймон [6] путем запоминания слов и фраз, имеющих различное смысловое содержание и находящихся в различной связи. Полученные результаты подтвердили в основном результаты Дж.Миллера. Было показано, что время обучения также зависит от числа чанков. Г. Саймон делает вывод, что психологическая реальность чанка достаточно хорошо продемонстрирована, а объем кратковременной памяти составляет от пяти до семи чанков.

Если люди не повторяют (мысленно или вслух) поступившую в КП информацию, она быстро забывается. Забывание происходит от того, что либо новые чанки как бы вытесняют старые, либо информация угасает со временем.

### 3.4. Магическое число

Кратковременная память содержит ту часть наших знаний, которая в данный момент осознается человеком. Возможна следующая аналогия: вы бродите в огромном темном зале с фонариком в руке. Узкий луч фонарика освещает различные предметы, но не дает вам возможности увидеть комнату в целом.

Ограниченность объема кратковременной памяти означает, что все отдельные компоненты информации (например, оценки вариантов решения по многим критериям) должны помещаться в каком-то «таинственном ящике», куда входит не более девяти



чанков. Человек очень быстро осуществляет операции с помещенными в кратковременную память чанками. Перенос информации из долговременной памяти в кратковременную занимает намного больше времени.

В настоящее время нет общепризнанных гипотез о связи ограничений объема кратковременной памяти с организацией человеческого мозга, но существуют интересные догадки [7].

Любопытно, что, изучая поведение крыс, кошек, обезьян, мы можем найти аналогичные ограничения по объему одновременно используемой информации.

Итак, в той части памяти, где осуществляется принятие решений, мы имеем существенные ограничения наших возможностей по переработке информации. Действительно, в реальной жизни могут произойти одновременно несколько событий, могут существовать разные варианты решений со многими оценками, а также могут иметь место несколько альтернатив. Человеческая система переработки информации имеет ограничение, которое проявляется при решении таких задач. Но человек использует две возможности, чтобы обойти это ограничение. Прежде всего он стремится сделать чанки как можно более емкими, т. е. «упаковать» в них побольше информации. Конечно, для этого ему нужно предварительное знакомство с этой информацией. Например, трудно запомнить без ошибок числа: 191-398-816-13, но если мы их сгруппируем по-иному: 1913-988-1613, то человек, знакомый с историей России, сразу узнает даты царствования династии Романовых и год принятия христианства. Следовательно, у человека эта информация помещается в три чанка, три смысловых блока информации, которые легко запоминаются. Для другого человека чанком может быть знакомая фраза и т.д. (приемы мнемотехники).

Итак, первый способ приспособления человека к своим внутренним «ограничениям» — создание все более емких чанков. Особенно преуспевают в этом люди, всю жизнь изучающие объекты, которые сравнительно мало меняются. Шахматисты-профессионалы запоминают в виде чанков сложные позиции, композиторы — гармонические сочетания звуков, врачи — многообразные сочетания симптомов у больных. Наиболее успешные в своей области профессионалы становятся прекрасными экспертами, способными быстро и почти безошибочно принимать решения.

В отличие от врачей и шахматистов государственные деятели, а также бизнесмены чаще всего встречаются с задачами принятия новых решений. Для таких решений характерна либо новая, не встречавшаяся ранее ситуация, либо новая обстановка, в которой надо решать прежнюю проблему. Время от времени каждый человек сталкивается с необходимостью принятия новых решений. В этом случае в памяти человека уже нет запасенных заранее емких чанков.

Но есть другой способ переработки сложной и объемной информации: упрощение проблемы, ее приспособление к возможностям человеческой системы переработки информации. Если ЛПР не может поместить в КП все оценки вариантов решений по многим критериям, он упрощает задачу. Заметим, что опытные руководители делают это крайне умело, оставляя суть проблемы и отбрасывая второстепенные детали. При этом люди используют некоторые типовые приемы, называемые эвристиками. Действительно, если сравниваются два объекта и по ряду критериев их оценки близки, то вполне логично просто не рассматривать эти критерии. Другой прием: разбить критерии на группы, сравнить объекты по группам критериев, а уже потом — в целом. Третий прием: выбрать объект, который по большинству критериев лучше, чем другой, не обращая внимание на сами оценки (насколько же он лучше). Если количество объектов, подлежащих сравнению, велико, то их сначала пропускают через «фильтр», предъявляя определенные требования к их качеству по отдельным критериям. Только тогда, когда число объектов невелико, человек изучает внимательно их плюсы и минусы, используя, как правило, парные сравнения объектов.

Все эти приемы появились не из-за лени или прихоти отдельных ЛПР, а как ценные средства, позволяющие, несмотря на ограничения возможностей переработки информации, решать сложные задачи. Каждый из этих приемов в большинстве случаев эффективен. Но для каждого из них можно подобрать «ловушки противоречивости», как это сделал А. Тверский [8].

### 3.5. Денежный насос

Профессор А. Тверский придумал оригинальный эксперимент. Группе испытуемых предъявлялись пары объектов, имевших оценки по трем критериям, причем один из критериев

был для них намного более важен, чем два других. В предъявляемой паре один из объектов (объект А) был немного лучше по важному критерию, но существенно хуже по менее важным критериям, чем другой объект (объект В). Пренебрегая небольшими отличиями по важному критерию, человек выбрал объект В. После этого ему предъявлялись выбранный им объект В и объект С, превосходящий В по двум менее важным критериям, но слегка уступающий объекту В по самому важному критерию. Человек выбирал объект С. В третий раз ему предъявляли объект С и первоначально исключенный из первой пары объект А. Тут уже человек замечал «накопившееся» отличие по наиболее важному критерию и выбирал объект А. Такой тип поведения называется *нетранзитивным*.

Обнаружив, что группа испытуемых, участвовавших в эксперименте, вела себя нетранзитивно, А. Тверский назвал наблюдавшуюся схему поведения «денежный насос». Действительно, рассуждал он, при каждом сравнении человек получает возможность улучшить свой первоначальный выбор. Но при этом его могут попросить заплатить хотя бы немного (например, 1 рубль) за такую возможность. Заплатив несколько раз за улучшение своего выбора (человеку предъявляется не три, а большее число пар объектов, сконструированных подобным же образом), человек возвращается к первоначальному объекту и может опять захотеть его улучшить. При этом он как бы «ходит по кругу», т. е. платит деньги и возвращается к тому объекту, с которого начал.

Вряд ли можно считать такое поведение рациональным.

### 3.6. Последовательная обработка информации

Ограничение емкости КП приводит людей к необходимости обрабатывать поступающую из внешнего мира информацию последовательно, а не воспринимать ее всю сразу — аналогично устройствам с ограниченной «пропускной способностью».

Г. Саймон высказал мнение, что и такая система переработки информации была достаточно хороша для людей на протяжении многих веков их существования [9]. В первобытном мире события являлись людям «по очереди», и по каждому из них принималось отдельное решение.

Только в современном, быстро меняющемся мире резко возросла нагрузка на человеческую систему переработки ин-

формации. Необходимо принимать сложные решения с учетом многих обстоятельств, при большой неопределенности последствий. Принятые решения быстро устаревают. Все эти обстоятельства имеют следствием ошибочные решения, принимаемые ЛПР. Естественные эвристики и интуиция ЛПР оказываются недостаточными для принятия разумных решений. Кроме того, ЛПР, как и всякий человек, иногда может совершить ошибку просто от невнимательности или по небрежности.

### 3.7. Извлечение

Может возникнуть представление, что при ограниченной по объему информации в КП существует возможность немедленно извлечения из нее любого чанка. Однако это не так. Чем больше чанков в КП, тем медленнее извлечение информации.

Впервые это показали эксперименты Р. Стернберга [3]. В экспериментах испытуемые запоминали последовательность цифр, количество которых было меньше семи, и отвечали затем на вопрос, содержится ли новая, заданная цифра в этой последовательности. Судя по результатам экспериментов, испытуемые ведут себя следующим образом: они производят последовательное сравнение заданной цифры со всеми запомненными цифрами, а уже потом принимают решение, содержится ли заданная цифра в последовательности или нет. Такая стратегия выгодна в том случае, когда принятие решения занимает намного больше времени, чем сравнение. Р. Стернберг определил время одного сравнения: 35мс.

## 4. Дескриптивные исследования многокритериальных проблем

Многокритериальные задачи принятия решений представляют собой особо сложный класс задач для человеческой системы переработки информации. Наличие многих критериев приводит к большой нагрузке на кратковременную память, заставляя человека использовать различные эвристики для того, чтобы справиться с задачей при ограниченном объеме кратковременной памяти.

В то же время в практической деятельности человека многокритериальные задачи встречаются все чаще, что вызвано необходимостью учитывать одновременно много различных факторов. Именно поэтому психологические исследования поведе-

ния человека в задачах многокритериального выбора активно проводятся в последнее десятилетие. Разработаны специальные методики проведения этих исследований [10,11].

#### 4.1 Прослеживание процесса принятия решений

Такое название получили исследования, направленные на то, чтобы зафиксировать последовательность этапов человеческого мышления при решении многокритериальных задач. Общая схема экспериментов заключается в том, что испытуемым в том или ином виде предъявляется группа альтернатив, из которых следует либо выбрать одну лучшую, либо их классифицировать, либо их упорядочить. Известны три основных метода исследования поведения испытуемых.

1. *Мышление вслух* (устные протоколы). В экспериментах испытуемых просят сопровождать свои решения «проговариванием вслух». Эти «мысли вслух» записывают на магнитофон и затем подвергают анализу. Приведем пример – сравнение испытуемыми двух вариантов съема квартиры. Возможный устный протокол выглядит так: «Посмотрим на стоимость аренды квартир А и В. Для А стоимость \$ 270, а для В – \$220. Стоимость А выше, но А находится в тихом месте, а В расположена на шумной улице. Но зато В – рядом со станцией метро, что весьма удобно».

Мышление вслух – не очень привычная процедура для испытуемых, но после небольшой тренировки они привыкают проговаривать вслух свои мысли. Записанные и перепечатанные протоколы передаются двум кодировщикам, которые разделяют их на сегменты, относящиеся либо к одной оценке (например, стоимость для альтернативы А), либо к типу анализа (например, сравнение двух альтернатив по одному критерию, просмотр оценок одной альтернативы). Осуществляется сравнение результатов кодировки и устраняются разногласия между кодировщиками. После этого проводится анализ стратегии испытуемого. Наиболее распространенными являются следующие типы стратегий:

- стратегия аддитивной полезности: ЛПР как бы «суммирует» оценки альтернативы по критериям в один образ и затем сравнивает альтернативы;
- стратегия аддитивных разностей: ЛПР как бы «суммирует» разности оценок альтернатив по критериям и выбирает лучшую альтернативу;

- стратегия исключения по аспектам: ЛППР исключает из рассмотрения альтернативы, не удовлетворяющие требованиям хотя бы по одному аспекту (критерию);
- стратегия исключения по уровням требований: ЛППР исключает альтернативы, не удовлетворяющие минимальным требованиям по всем критериям.

Естественно, что в процессе анализа альтернатив ЛППР может менять стратегии. Вводятся следующие определения: *по альтернативный поиск* — если три операции и более относились к одной альтернативе, и *по критериальный поиск* — если три операции и более относились к одному критерию. Таким образом, поведение испытуемого характеризуется также и смешанной стратегией.

Устные протоколы привлекли общее внимание и показали свою полезность в исследованиях, проведенных Г. Саймоном и его учениками в области искусственного интеллекта [12]. Так, с помощью устных протоколов было получено понимание того, как человек решает головоломки, логические задачи.

**2. Информационная доска.** Этот способ исследований был предложен Д. Пейном [10]. В современном виде он может быть представлен следующим образом. На экране компьютера появляется таблица, столбцы которой соответствуют альтернативам, а строки — критериям. На пересечении столбца и строки в квадрате находится оценка альтернативы по критерию. В начале работы испытуемого все оценки закрыты. Испытуемый может открывать их в любом порядке, совмещая курсор с квадратом и щелкая мышкой. Последовательность открытия оценок характеризует его стратегию.

**3. Метод фиксации движений глаз.** При использовании этого метода многомерные альтернативы размещают на специальном листе, который находится на некотором расстоянии перед испытуемым. Движения глаз испытуемого фиксируются специальной аппаратурой, которая позволяет определить место на листе, куда направлен взгляд, и длительность фиксации взгляда.

В серии исследований Рассо и его сотрудники [11] показали, что метод фиксации движения глаз чрезвычайно информативен при изучении процессов сравнения многокритериальных альтернатив. Во-первых, фиксируются все элементарные движения, которые хотя и не тождественны мыслительным операциям, но неплохо их характеризуют. Во-вторых, как показы-

вают исследования, экспериментальная обстановка мало влияет на стратегию сравнения.

Конечно, аппаратура для записи движений глаз сложна и дорога. Достаточно сложным является и анализ записи, при котором выделяются не отдельные фиксации, а их совокупности (понятийные единицы). Однако в целом данный метод позволил ближе всего подойти к элементарным операциям по переработке информации, осуществляемым человеком.

#### 4.2. Результаты дескриптивных исследований

Что же достигнуто к настоящему времени в понимании внутренних понятийных процессов переработки информации человеком в многокритериальных задачах? На этот вопрос есть много общих и частных ответов. Мы постараемся выделить из них то, что в настоящее время можно считать результатами, многократно подтвердившимися при использовании различных методов исследований.

Прежде всего остановимся на соответствии стратегий и задач. При помощи разных методов было показано, что для задач выбора лучшей альтернативы при небольшом числе альтернатив характерны аддитивные стратегии. Этот результат был получен методами фиксации движений глаз, устных протоколов, информационной доски. Было найдено, что при шести–десяти альтернативах люди сравнивают их попарно, запоминают лучшую и переходят к следующей. При большом числе альтернатив и критериев (до 12) часто используют смешанные стратегии: сначала стратегии исключения, оставляющие небольшое число альтернатив, а уже потом – аддитивные стратегии при малом числе оставшихся альтернатив. Было показано также, что словесные оценки на шкалах критериев чаще приводили к поальтернативным сравнениям (при небольшом числе альтернатив).

С помощью разных методов было определено, что для задач отнесения альтернатив к классам решений преимущественно используются стратегии исключения.

Различные стратегии и упрощающие эвристические приемы появились именно вследствие специфических свойств кратковременной памяти человека. Во многих случаях жизненной практики эвристики, безусловно, полезны. Многокритериальные задачи являются тем особым, крайне трудным для человека классом задач, где привычные эвристики часто приводят к противоречиям, к нарушениям рациональности.

Наряду с ограниченным объемом кратковременной памяти есть другая важная особенность человеческой системы переработки информации – пластичность, умение адаптироваться к конкретной задаче. На поведение человека при сравнении многокритериальных альтернатив влияют характер оценок (числовые или словесные), количество критериев и альтернатив и т.д. Более того, при тех же альтернативах и критериях на стратегию человека существенно влияет форма предъявления ему информации. В эксперименте Бетмана и Какара [13] испытуемым предъявляли информацию об  $n$  альтернативах, имевших оценки по  $N$  критериям, тремя различными способами: в виде матрицы  $N \otimes n$ , в виде перечня альтернатив со всеми их оценками (каждая альтернатива – на отдельной странице), в виде перечня совокупностей оценок альтернатив по каждому критерию. Стратегии испытуемых в этих трех случаях значительно различались.

Как ограниченная емкость кратковременной памяти, так и пластичность являются объективными характеристиками системы переработки информации. Многие конкретные стратегии определяются персональным пониманием той или иной задачи, причем далеко не всегда правильным. Поэтому выбор стратегии решения сам по себе является для человека самостоятельной задачей. В этом выборе проявляется его индивидуальность, его мотивация и предварительные установки.

## 5. Долговременная память

Хотя принятие решений осуществляется в основном в кратковременной памяти, между двумя видами памяти происходит постоянный обмен информацией. Вообще связь между этими двумя видами памяти очень сильная. Существует точка зрения, что они не являются различными нейронными системами, а соответствуют различным состояниям активации единой нейронной системы.

Требуется время, чтобы информация, поступившая из КП, закрепились в ДП, но после этапа закрепления она может храниться в ДП очень долго. Есть эксперименты, показывающие, что человек может вспомнить далекие по времени и, казалось бы, насовсем забытые события и факты. Можно предположить, что мы сохраним в мозгу огромное количество информации, но не всегда можем найти «ключик от сундука», где хранится эта информация.



Долговременная память также принимает участие в принятии человеком решений, поставляя в КП необходимые факты, знания и умения.

Так же, как и в КП, в долговременной памяти можно выделить три этапа переработки информации: кодирование – хранение – извлечение.

### 5.1. Кодирование

Преобладающим способом кодирования информации для вербального материала является смысловое кодирование. Это означает, что чаще всего мы не запоминаем информацию дословно. Мы помним основное ее содержание. Например, после прочтения письма мы можем совсем иными словами, но достаточно точно описать его содержание.

### 5.2. Хранение

Существует множество различных и достаточно сложных моделей долговременной памяти. Каждая из них соответствует определенной части имеющихся экспериментальных данных. С точки зрения проблем принятия решений нам представляется наиболее привлекательной модель, основанная на семантической близости [3]. В этой модели семантический класс может быть представлен в долговременной памяти как набор атрибутов или признаков. Каждый объект представляется как бы точкой в пространстве признаков, причем близким объектам соответствуют близкие расстояния в этом пространстве.

Другая распространенная модель может быть названа иерархической. Люди лучше запоминают информацию и реже ее забывают, если сведения упорядочены от более общих к более частным. Например, удобно хранить информацию о живых существах, относя их к классам млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, земноводных, рыб и т.д. Мы можем различать разные группы птиц по местам обитания, по поведению и т.д.

Иерархическая организация информации оказывается весьма эффективной. В одном из экспериментов испытуемых просили запомнить информацию, представленную в иерархическом виде. Другая группа испытуемых получила эту же информацию без какой-либо структуры, просто как набор названий. Испытуемые запоминали (в среднем) 65% информации, представленной в иерархическом виде, и только 19% информации при случайном порядке предъявления [3].

### 5.3. Извлечение

При принятии решений мы переносим из долговременной памяти в кратковременную необходимую информацию, если, конечно, мы ее не забыли. Как отмечает Г. Саймон, долговременная память похожа на большую энциклопедию, которая создается одновременно с умением делать выборки по индексам.

В отличие от обычных энциклопедий человеческая память позволяет делать выборки по индексам совершенно разного характера. Вспоминая о птицах, мы можем, например, использовать как признаки их окраску, размер, тип питания, пути миграции и т.д.

Особый интерес с точки зрения принятия решений представляет удивительная способность экспертов быстро и безошибочно находить необходимые решения. Для экспертов (шахматистов, инженеров, врачей) характерен быстрый переход от описания объекта к правильной его оценке.

Каким образом эксперты сразу и с малым числом ошибок находят нужные решения?

Проведенные исследования показали, что эксперты хранят в долговременной памяти очень большое количество информации (чанков) в специально организованном виде. По оценке Г. Саймона, количество таких чанков для одной области деятельности может составлять от десятков тысяч до 1 млн [6]. За многолетнюю практику (по мнению Г. Саймона необходимо не менее 10 лет для того, чтобы стать экспертом в любой области) профессионалы отбирают наиболее информативные для принятия решений признаки. Так, шахматисты описывают позиции, используя такие термины, как «угроза для короля», «возможность атаки» и т. д. С помощью этих индексов шахматисты быстро находят в памяти позиции, необходимые при выборе следующего хода.

## 6. Психологические теории человеческого поведения при принятии решений

Результаты экспериментального исследования поведения людей при решении многокритериальных задач были использованы при разработке психологических теорий, описывающих поведение людей в задачах выбора.

## 6.1. Теория поиска доминантной структуры

Эта теория была предложена Г. Монтгомери и О. Свенсоном [14]. Они выдвинули гипотезу о том, что при выборе лучшей из нескольких альтернатив ЛППР стремится создать доминантную структуру. Путем попарного сравнения всех (либо части) альтернатив ЛППР хочет найти альтернативу, которая:

- лучше каждой из прочих хотя бы по одному критерию;
- ее недостатки менее существенны, чем недостатки сравниваемых с ней альтернатив.

В соответствии с теорией поиска доминантной структуры ЛППР в процессе принятия решений охватывает взглядом все имеющиеся альтернативы и выбирает ту, которая по первому впечатлению может оказаться доминирующей. Затем он попарно сравнивает с выбранной прочие альтернативы. Если при этих сравнениях выбранная альтернатива оказалась лучшей, то доминантная структура построена, и ЛППР может объяснить свой выбор. Если при каком-либо из сравнений какая-то иная альтернатива окажется лучшей, то уже она рассматривается как потенциально доминирующая и с ней сравниваются все прочие.

Теория поиска доминантной структуры подтвердилась при прослеживании процессов принятия решений методом вербальных протоколов. Оказалось, что внимание (процент от общего времени решения задачи), уделяемое доминантной альтернативе в процессе выбора, было больше, чем для какой-либо иной альтернативы.

## 6.2 Теория конструирования стратегий

Д. Пейн предложил и обосновал другую теорию человеческого поведения при выборе лучшей (или лучших) из многокритериальных альтернатив. Эта теория может быть названа теорией конструирования стратегий [15]. Д. Пейн предположил, что в процессе решения задачи используется не одна, а несколько стратегий и эвристик. Сравнивая альтернативы, люди могут сначала пренебречь различиями в оценках по некоторым критериям, затем использовать стратегию аддитивных разностей, далее — стратегию исключения и т.д. Для поведения испытуемых в эксперименте характерна именно совокупность стратегий, а не одна стратегия. При этом на формирование совокупной стратегии оказывают непосредственное влияние те оценки альтернатив, которые попадают в зону внимания человека.

На этапах сравнений альтернатив правила выбора могут изменяться в зависимости от усилий, затрачиваемых человеком при применении правила, и в зависимости от желаемой точности выбора. Люди могут совершить ошибочный выбор стратегии под влиянием тех или иных (часто малозначимых) характеристик альтернатив. Гипотезы Д. Пейна получили подтверждение при прослеживании процессов принятия решений методом информационной доски.

Как отмечает Д. Пейн, изложенные выше черты поведения характерны для неподготовленных испытуемых. ЛПР, имеющие опыт в принятии решений, владеют своими излюбленными стратегиями, которые они и применяют при решении задач.

## **7. Исследование возможностей человека в задачах классификации многомерных объектов**

В ряде экспериментов была показана непосредственная связь человеческого поведения с организацией человеческой системы переработки информации [16,17]. Объектом исследования являлись широко распространенные на практике задачи классификации многомерных ситуаций. Например, с такими задачами сталкивается руководитель программы проведения научных исследований и разработок, принимая решения о включении в программу тех или иных проектов.

С этими же задачами сталкиваются и инженер, устанавливающий характер неисправности в сложной технической системе, и покупатель в магазине, разделяя интересующие его товары на два класса — заслуживающие или не заслуживающие дальнейшего рассмотрения. Во всех этих примерах человек решает задачу отнесения объекта, имеющего совокупность характеристик (оценки по многим критериям), к одному из нескольких классов решений. Иначе говоря, человек осуществляет многомерную классификацию.

### **7.1 Схема экспериментов**

При проведении экспериментов с различными группами людей (студентами, старшеклассниками, сотрудниками НИИ) предполагалось, что сложность задачи экспертной классификации зависит от следующих параметров задач: числа критериев, числа оценок на их шкалах, числа классов решений.

Была выдвинута гипотеза, что поведение людей может измениться при определенном увеличении того или иного параметра задачи. Сложность задачи классификации в каждом из экспериментов определялась тремя следующими параметрами: числом критериев (признаков, характеристик)  $N$ , описывающих оцениваемые объекты; числом оценок  $W_i (i=1, \dots, n)$  на порядковых шкалах этих критериев (оценки упорядочены от лучшей к худшей); числом классов решений  $P$ , к которым следует отнести рассматриваемые объекты. Все возможные сочетания оценок по разным критериям определяют полное множество возможных описаний объектов. В каждом из экспериментов испытуемому предлагалось оценить все возможные объекты, отнеся каждый из них к одному из заданных классов решений.

Как пример рассмотрим одну из задач, решавшихся студентами. В качестве объектов классификации выступали описания арендуемых квартир – объектов, хорошо знакомых испытуемым. В качестве критериев оценки объектов предлагались:

- 1) размеры подсобных помещений и кухни;
- 2) расположение комнат;
- 3) район, где находится квартира;
- 4) экологическая обстановка в районе;
- 5) стоимость.

Для каждого из критериев была разработана шкала из трех словесных оценок, упорядоченных по качеству от первой к третьей. Так, для первого критерия использовалась следующая шкала оценок:

- 1) подсобные помещения и кухня большой площади;
- 2) подсобные помещения и кухня малой площади;
- 3) кухня малой площади, подсобные помещения отсутствуют.

Итак, в данном случае  $N=5$  и  $W_i=3$ . Нетрудно убедиться, что сочетания различных оценок по критериям задают полное множество возможных объектов. В данном случае количество этих объектов  $Q=3^5=243$ . Описание 243 гипотетических квартир в случайном порядке предъявлялось испытуемому. Его задача состояла в отнесении каждого сочетания к одному из следующих классов решений:

- 1) квартира хорошая и полностью вас удовлетворяет;
- 2) квартира удовлетворительная, хотя и имеет целый ряд недостатков;
- 3) квартира вам не подходит.

## 7.2. Параметры, используемые для оценки поведения испытуемых в задачах классификации

Отнесение какого-либо объекта к некоторому классу в условиях упорядоченности классов решений (первый класс лучше второго и т.д.) и порядковых шкал оценок критериев накладывает определенные ограничения на отношения между объектами. Так, объекты, доминирующие по критериальным оценкам данный объект, не могут быть отнесены в худший класс, чем он сам, а объекты, им доминируемые, не могут быть отнесены в класс лучший, чем данный объект. Нарушение этих ограничений считалось ошибкой, допускаемой испытуемым при классификации.

Поведение испытуемых оценивалось по трем параметрам, смысл которых следует объяснить более подробно.

1. *Число противоречий.* Задача испытуемых состояла в разделении объектов (сочетаний оценок по критериям) на упорядоченные классы. На рис. 29,а приведен крайне простой вариант этой задачи – разделение на два класса (первый класс лучше второго) сочетаний оценок по двум критериям: А и В (первые оценки – лучшие; оценки на шкалах упорядочены по качеству). На рис. 29,а представлено гипотетическое разделение на два класса (пустые клетки – первый класс, заштрихованные – второй класс). Очевидно, что оценка клетки  $A_2B_2$  противоречит оценкам клеток  $A_2B_3$ ,  $A_3B_2$ ,  $A_4B_2$  и  $A_3B_3$ . Следовательно, в данной классификации на рис. 29,а имеются четыре противоречия.

2. *Число замен (ошибок).* Наряду с числом противоречий информативным является и другой показатель – число изменений в ответах испытуемого, которые делают классификацию непротиворечивой. Так, в классификации, представленной на рис. 29,а, нужно только одно изменение – назначение другого (первого) класса для сочетания  $A_2B_2$ . Эта замена делает классификацию непротиворечивой. Число замен характеризует число ошибок, совершенных испытуемыми при классификации.

3. *Сложность границ между классами.* Этот критерий, предложенный нами ранее [19], оценивает сложность правил, используемых при классификации. Так, граница между классами на рис. 29,б очень проста, поскольку испытуемый фактически заменил критерии на ограничения. Его решающее правило в данном случае очень просто: к первому классу относятся сочетания, имеющие оценки лучшие, чем  $A_5$ , и лучшие, чем  $B_4$ .

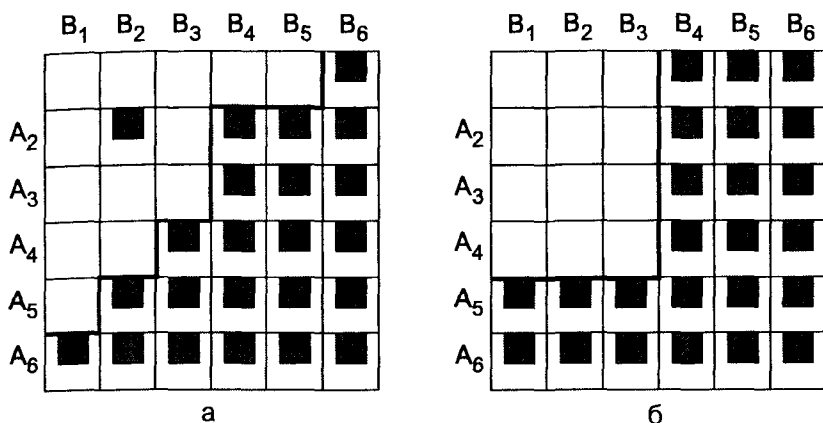


Рис. 29. Простое (а) и сложное (б) разделение на два класса сочетаний оценок по двум критериям: А и В

Граница между классами на рис. 29,а значительно сложнее. Легко убедиться, что она описывается пятью сочетаниями оценок по двум критериям. Замена критерия на ограничения может происходить по двум причинам.

Во-первых, среди испытуемых могут быть люди, которые рассматривают исходную задачу не как многокритериальную, а как более простую — однокритериальную с ограничениями по другим критериям (недаром А. Тверский [8] и Д. Рассо [11] предварительно отбирали испытуемых, использующих все критерии).

Во-вторых, как мы увидим далее, один и тот же человек может перейти к использованию ограничений вместо критериев при усложнении задачи. Известно, что стратегия последовательного введения ограничений вместо критериев («исключение по аспектам») в когнитивном отношении крайне проста.

В соответствии с вышеописанными критериями был установлен уровень требований к качеству выполнения задания, в соответствии с которым выносилось суждение о том, справился ли испытуемый с задачей классификации. Известно, что, выполняя те или иные операции по переработке информации, человек может ошибаться. Однако ошибка ошибке рознь. Как показано на рис. 29,а, ошибки, совершаемые вдали от границ, влекут за собой большое число противоречий. Эти ошибки, как правило, очевидны. Они не мешают установить границы между классами решений. Иначе обстоит дело с ошибками, совершаемыми у самой границы. Так, если испытуемый отнес ко второму классу клетку A<sub>2</sub>B<sub>3</sub> на рис. 29,а, то имеется лишь одно про-

тиворечие (принадлежность клетки  $A_3B_3$  к первому классу), и вопрос ставится следующим образом: отнести клетку  $A_2B_3$  к первому классу или клетку  $A_3B_3$  ко второму классу. Следовательно, ошибки около границы и на самой границе особенно опасны тем, что они меняют границу между классами, и при большом числе таких ошибок невозможно установить четкие границы между классами решений.

В связи с этим в качестве значения первого критерия, определяющего, справился ли испытуемый с задачей, было принято число ошибок, совершаемое около границы — на единичном расстоянии от границы (изменение на одну оценку по любому критерию переводит сочетание в элемент границы). Было принято, что испытуемый справляется с задачей лишь в том случае, когда число таких ошибок у границ между классами не превышает двух. В качестве второго критерия, определяющего, справился ли испытуемый с задачей классификации, была выбрана сложность границы, отражающая сложность решающих правил, используемых испытуемыми. А именно: требовалось, чтобы среди граничных элементов между классами были хотя бы один-два элемента, представляющих сочетания оценок критериев. Иначе говоря, считалось, что если испытуемый перевел все критерии в ограничения и превратил задачу в «исключение по аспектам», то он не справился с задачей. Действительно, в последнем случае задача многокритериальной классификации просто исчезает.

### 7.3. Описание экспериментов

Следует разделить эксперименты на две группы: 1) эксперименты, проводимые с людьми, не имевшими большой практики в принятии решений (студенты, школьники — первая серия экспериментов), и 2) эксперименты, где в качестве испытуемых выступали профессионалы, решающие реальные практические задачи (вторая серия экспериментов). Для первой группы испытуемых имелись широкие возможности варьировать параметры задачи классификации и условия эксперимента. Студенты (эксперименты с 1-го по 12-й) классифицировали арендуемые квартиры, решая, насколько предлагаемые варианты удовлетворяют их, а школьники (эксперименты 13 и 14) — высшие учебные заведения с точки зрения того, насколько они подходят им для поступления после окончания школы.



Для второй группы испытуемых возможности варьирования параметров задачи почти отсутствовали, и схема эксперимента соответствовала реальной задаче. В экспериментах второй серии участвовали члены редакционного совета научно-исследовательского института, оценивая качество предлагаемых к опубликованию препринтов (эксперименты 15 и 16).

#### 7 4. Результаты экспериментов

Данные о среднем количестве ошибок, допускаемых испытуемыми при выполнении 100 классификаций в каждом из экспериментов, представлены в табл. 13.

Как видно из таблицы, среднее число ошибок зависит от сложности задачи классификации. Использование метода ANOVA для определения зависимости количества ошибок от параметров N и W позволило получить следующий результат:

Таблица 13

*Результаты экспериментов по решению задачи классификации  
многомерных объектов*

№ эксперимента	Количество испытуемых	Размерность задачи				Среднее число допущенных ошибок (Е)	Процент испытуемых, справившихся с задачей
		N	W	P	Q		
1	9	7	2	5	128	9,5	11
2	9	7	2	4	128	6,5	0
3*	19	7	2	3	128	6,5	37
4	15	5	3	4	243	9,7	13
5*	20	5	3	3	243	5,8	35
6*	24	5	3	2	243	5,0	46
7	20	4	4	4	256	8,8	10
8	20	4	4	3	256	6,2	20
9*	9	4	4	2	256	3	67
10	10	3	5	5	125	17	0
11	11	3	5	4	125	8,8	9
12*	10	3	5	3	125	5,1	60
13	16	5	3	4	243	9,8	19
14*	16	5	3	2	243	3,5	73
15*	9	5	3	2	243	3,3	Вторая серия экспериментов
16	4	5	3	4	243	1,3	

Примечание: N – число критериев; W – число градаций на шкалах их оценок; P – число классов; Q – число классифицируемых объектов; \* – сложность данной задачи находится в пределах возможностей человека

при фиксированных  $N$  и  $W$  число ошибок (число замен) существенно зависит от числа классов решений  $P$ .

Среднее время, затрачиваемое испытуемыми на вынесение одного суждения о принадлежности объекта к тому или иному классу, составляло 14 с. Дополнительный анализ качества выполнения классификации, проведенный для каждого испытуемого в соответствии с критериями, позволил вынести суждение, справился ли испытуемый с заданием. Например, в эксперименте 9 при  $N=4$  (число критериев),  $W_i=4$ ,  $i=1, \dots, 4$  (число оценок на порядковых шкалах),  $P=2$  (число классов решений) 67% испытуемых справились с задачей (среднее число ошибок равнялось 3). В эксперименте 7 при тех же  $N=4$  и  $W=4$ , но уже при  $P=4$  90% испытуемых не справились с задачей, причем наблюдалось резкое увеличение числа противоречий и ошибок (среднее число замен равнялось 8,8).

Были найдены такие значения  $N, W, P$ , что при увеличении одного из этих параметров значительная часть испытуемых переставала справляться с задачей. Было условно определено, что если как минимум треть испытуемых из группы, состоявшей обычно из 10–15 человек, успешно справляется с задачей, то задача классификации данной сложности находится в пределах возможностей человека.

#### 7.5. Обсуждение результатов первой серии экспериментов

Результаты экспериментов подтвердили гипотезу о существовании пределов возможностей испытуемых в задачах многокритериальной классификации. Полученные результаты показывают, что при определенных значениях параметров происходит резкое увеличение числа противоречий и замен. Испытуемые перестают справляться с задачей, и по их ответам невозможно установить границы между классами.

В чем же причина такого явления? Для ответа на этот вопрос был проведен специальный анализ. Как уже отмечалось, результаты работы испытуемых могут быть представлены в виде элементов границ между классами. Эти элементы показывают, что все альтернативы, доминирующие над ними, относятся к более высоким классам, а доминируемые ими — к более низ-

ким. После приведения ответов испытуемых к непротиворечивому виду по алгоритмам, предложенным в [17], можно легко определить границы между классами. Эти границы между классами характеризуются как количеством элементов границы, так и их сложностью – количеством оценок в элементах границ, отличных от первых. Проведенный содержательный анализ элементов границ, а также сопоставление его результатов с результатами анализа письменных протоколов показали, что элементы границы не являются независимыми. Обычно совокупность нескольких элементов границ отражает более общее правило, которое имеет для испытуемых четкое смысловое содержание. Такие правила могут быть определены путем группировки элементов границ по их близости (по содержанию одинаковых оценок). Эти правила достаточно просты для запоминания. Для примера приведем одно из правил, использовавшихся студентами: если квартира расположена в промышленном районе и одновременно дорогая, то она не подходит (третий класс) независимо от планировки.

Совокупность такого рода правил отражается в элементах границ между классами, объединяя их в структурные единицы информации. Стратегии, использовавшиеся испытуемыми, можно представить как совокупность таких правил. Для двух экспериментов (эксперименты 4 и 13), в которых испытуемые не справились с задачей классификации, и для двух экспериментов (эксперименты 6 и 14), в которых испытуемые справились с нею, для каждого испытуемого были выделены правила, используемые ими при классификации в виде структурных единиц информации, объединяющих элементы границ между классами. При анализе оказалось, что в случаях, когда испытуемые справлялись с задачей, количество используемых испытуемыми правил не превышало восьми. В случаях, когда испытуемые не справлялись с задачей, формальный анализ позволил выявить существование большего числа правил. Усредненное для групп испытуемых количество правил, используемых для классификации в экспериментах 4 и 13, составляло 12, а в экспериментах 6 и 14 равнялось 5.

Наиболее вероятное объяснение этих данных состоит в следующем. При решении очередной задачи отнесения альтернативы к тому или иному классу испытуемый вынужден помещать в кратковременную память все правила, представляющие собой как бы структурные единицы информации, которыми он оперирует. Как известно, объем кратковременной памяти ограничен.

В случае, когда испытуемые использовали при классификации не более девяти правил (структурных единиц информации), они справлялись с задачей. При попытке воспользоваться большим числом структурных единиц информации оказалось, что часть из них отсутствовала в кратковременной памяти в моменты принятия решений, что и приводило к резкому увеличению числа ошибок и противоречий.

Полученные в работе данные о среднем времени, затрачиваемом на вынесение суждения о принадлежности объекта к какому-либо классу, косвенным образом подтверждают это предположение. Среднее время на выполнение одной классификации в первой серии экспериментов составляет 14 с. А поскольку время, требуемое для фиксации информации в долговременной памяти, согласно данным [12], составляет порядка 5 с, то можно сделать вывод, что в процессе классификации нет активного обмена информацией между структурами долговременной и кратковременной памяти. Данные работы [2] свидетельствуют о том, что время выполнения одной операции в КП занимает около 100 мс. Несопоставимость этого времени с временем, требуемым для обращения к долговременной памяти, вынуждает систему переработки информации в КП минимизировать связи с долговременной памятью, замедляющие на два-три порядка скорость переработки информации.

#### 7 6. Анализ и обсуждение результатов второй серии экспериментов

Основная цель этой серии экспериментов заключалась в оценке того, как профессионалы справляются с задачами классификации и в какой мере выводы, полученные при работе с группами студентов и школьников, могут быть перенесены на реальные практические задачи классификации.

Было проведено два эксперимента, в которых задача многокритериальной классификации была совмещена с профессиональными задачами испытуемых. В эксперименте 15 испытуемые классифицировали предлагаемые к публикации препринты ( $N=5$ ,  $W=3$ ,  $P=2$ ); при этом  $E=3,3$  (см. табл. 13). Проведенный анализ свидетельствовал, что все испытуемые (члены редакционно-издательского совета), кроме одного, справились с задачей классификации при двух классах решений. Анализ границ между классами свидетельствовал, что никто из испытуемых не использовал в процессе классификации более пяти правил, объединяющих элементы границ в структурные единицы информации.

Мы ожидали, что с усложнением задачи (эксперимент 16, 4 класса решений) увеличится, как и ранее, количество ошибок. Однако число ошибок оказалось даже меньшим (см. табл. 13). В связи с этим особенный интерес представлял анализ стратегий испытуемых. Результаты анализа границ между классами свидетельствовали, что испытуемые резко упростили свои стратегии при возрастании сложности задачи. Поэтому двое из четырех испытуемых (в соответствии с критерием «сложность решающего правила») не справились с задачей классификации, несмотря на незначительное количество допущенных ошибок.

Число используемых при классификации правил не превышало объема КП. Следует отметить: несмотря на то, что предметное содержание задачи классификации было близким для испытуемого по его профессиональной ориентации, сама задача классификации препринтов, представленных посредством описания их критериальных оценок, была для них новой.

Итак, можно сделать вывод, что поведение опытных специалистов, принимающих решение, при усложнении задач классификации отличается от поведения обычных людей. При решении новых, не повторяющихся в их практике задач классификации, сложность которых превышает границы их возможностей, они стремятся прежде всего быть последовательными, непротиворечивыми. Для этого они упрощают свою задачу, отбрасывая часть критериев из рассмотрения, переводя их в ограничения. Существенно упрощая при этом задачу, они прак-

тически решают вместо исходной задачи другую, приспособленную к реальным возможностям человеческой системы переработки информации.

## 7.7. Общее обсуждение

Что же показывают полученные результаты? Прежде всего мы имеем доказательства существования поразительно четких границ возможностей человека в задачах многомерной классификации. Эти границы замаскированы у опытных ЛПР их умением явно упрощать задачу и переходить, по сути дела, к стратегии «последовательного исключения по аспектам», при которой нагрузка на кратковременную память минимальна, хотя сама задача искажается. Применительно к новым задачам многокритериальной классификации полученные в работе результаты позволили сделать заключение о возможностях человека при решении 90 разных по сложности задач классификации. Так, данные эксперимента 3, которые свидетельствовали, что решение задачи классификации объектов на три класса, характеризуемых семью критериями и двумя градациями на шкалах их оценок, находится в пределах возможностей человека, позволили сделать выводы, что еще 12 заведомо более легких задач также находятся в пределах возможностей человека.

Результаты оценки возможностей человека в задачах разной сложности сведены в табл. 14, где в клетках указано предельное число критериев, при которых испытуемые еще справляются с задачей многокритериальной классификации [17]. Невозможность решения задач, более сложных, чем указаны в табл. 14, выражается в многочисленных противоречиях, в допускаемых ошибках или в упрощении задачи в ущерб ее содержательной стороне.

Таблица 14

*Число критериев, при котором возможна классификация*

Количество оценок на порядковых шкалах	Количество классов решений			
	2	3	4	5
2	7-8	6-7	4-5	3
3	5-6	3-4	2-3	2
4	3-4			

Обратимся к табл. 14. При решении любой задачи классификации испытуемый должен учитывать все три основных параметра задачи: критерии, оценки на шкалах, классы решений. Если мы перемножим наибольшие значения этих параметров, приведенные в табл. 14, то получим значения в пределах 30—42. Аналогично Дж. Миллеру мы можем сделать вывод, что «разрешающие возможности» человека в задачах многомерной классификации не превышают шести двоичных единиц информации.

Возникает вопрос: насколько непреодолимы для человека очерченные выше границы? Есть ли возможности фактически расширить способности человека решать сложные многокритериальные задачи?

На наш взгляд, такие возможности имеются. Одна из них состоит в попытке заменить параллельные задачи с большой нагрузкой на кратковременную память последовательными задачами. Прежде всего следует упомянуть об иерархических решающих правилах, когда можно использовать иерархию классификаций. Необходимым условием для этого является содержательность для эксперта понятий, используемых на каждом уровне иерархии. Конечно, этот подход не универсален и в каждом случае должен применяться творчески. В специальных экспериментах нами проверялась эффективность различных стратегий выборочной классификации, при которой классификация осуществляется как бы последовательно (сначала выбираются все объекты, относящиеся к первому классу, затем — ко второму классу и т. д.), что позволило снизить число допущенных ошибок в 1,5 раза по сравнению с условиями обычной классификации, когда испытуемый, последовательно рассматривая каждый объект, относит его к тому или иному классу.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что существуют ограничения возможностей человека в широком круге интеллектуальных задач. Эти ограничения объективны и определяются особенностями человеческой системы переработки информации. Такие же пределы и ограничения можно установить и в других задачах принятия решений — нужны лишь новые критерии оценки поведения и новые эксперименты.

## Выводы

Поведение человека в задачах принятия решений имеет специфические особенности, которые определяются характеристиками человеческой системы переработки информации. Эти особенности проявляются как в лабораторных экспериментах, так и в практических ситуациях. Многочисленные исследования поведения людей в реальной жизни (принятие политических решений, игра на скачках, игры на деньги) показывают, что здесь (хотя, возможно, и в другом виде) проявляются типичные черты поведения человека, определяемые характеристиками человеческой системы переработки информации.

Наиболее проверенной является модель системы переработки информации человеком, включающая три блока: сенсорную память, кратковременную память, долговременную память. Принятие решений осуществляется при активном использовании КП.

Человеческая система переработки информации прекрасно приспособлена к решению многих задач, с которыми человек сталкивается в своей жизни. В определенных пределах человек способен решать и многофакторные задачи – при небольшом числе факторов. Кроме того, человек обладает набором эвристик, позволяющих ему решать задачи любой сложности, предварительно упрощая их и приспособлявая к своим ограниченным возможностям. Но есть задачи, которые сложны для человека. В самом факте существования таких задач нет ничего удивительного. В конце концов, человек – биологическое существо, и его возможности ограничены физиологией. Человек не может прыгнуть на 5 м (с места, конечно), обходиться без воды 5 суток и т.д. Точно так же человек не может непосредственно учитывать много факторов без использования эвристик. А все эвристики обладают следующим свойством: они хороши для большинства случаев, но в некоторых – ведут к логическим ошибкам, противоречиям. Простой прием – пренебрежение малыми различиями в оценках двух альтернатив по критериям – вызывает нетранзитивность, как это убедительно показал А. Тверский [8].

Особенно трудны для человека появившиеся в последние десятилетия многокритериальные задачи, они часто и приводят к ошибкам и противоречиям в принятии решений.

На поведение человека большое влияние оказывает его умение преобразовывать исходную информацию, творчески формировать структурные единицы информации из исходного материала, использовать чанки, ранее запасенные в долговременной памяти. Именно эти способности наряду с характеристиками задачи существенно определяют человеческое поведение. При всем этом на поведение человека в задачах принятия решений оказывают сильное влияние объективные характеристики его системы переработки информации и прежде всего ограниченная емкость кратковременной памяти.



## Список литературы

1. **Аткинсон Р.** Человеческая память и процесс обучения. М.: Прогресс, 1980.
2. **Simon H.A.** Information-processing models of cognition // J. Amer. Soc. Information Science. Sept.1981.
3. **Солсо Р.Л.** Когнитивная психология. М.: Тривола, 1996.
4. **Миллер Дж. А.** Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию // Инженерная психология. М.: Прогресс, 1964.
5. **Солтхауз Г.А.** Психологические аспекты машинописи // В мире науки. 1984. № 7.
6. **Simon H.A.** How big is a chunk // Science. 1974. № 183.
7. **Виноградова О.С.** Гиппокамп и проблемы памяти. М.: Наука, 1987.
8. **Tversky A.** Intransitivity of preferences // Psychological Review. 1969. № 76.
9. **Simon H.A.** Reason in Human Affairs. Stanford, California: Stanford University Press, 1983.
10. **Ларичев О.И.** Объективные модели и субъективные решения. М.: Наука, 1987.
11. **Russo J. E., L. D. Rosen.** An Eye Fixation Analysis Of Multiattribute Choice // Memory and cognition. 1975. № 3.
12. **Саймон Г.** Науки об искусственном. М : Мир, 1972.
13. **Bettman I., Kakkar P.** Effects of information presentation format on consumer information acquisition strategies // J. Consumer Res. 1977. V.3.
14. **Montgomery H., O. Svenson.** A think-aloud study of dominance structuring in decicion processes // H. Montgomery, O. Svenson (Eds.). Process and Structure on Human Decision Making Chichester J. Wiley and Sons, 1989.
15. **Payne J. W., J. R. Bettman, E. Coupey, E. J. Johnson.** A constructive process view of decision making: multiple strategies in judgment and choice // O. Huber, J. Mumpower, J. van der Pligt, P. Koele (Eds.). Current Themes in Psychological Decision Research. North Holland, Amsterdam, 1993.
16. **Ларичев О.И., Мошкович Е.М.** О возможностях получения от человека непротиворечивых оценок многомерных альтернатив // Дескриптивный подход к изучению процессов принятия решений при многих критериях / Под ред. С. В. Емельянова и О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1980. № 9.
17. **Ларичев О.И., Мошкович Е.М., Ребрик С.Б.** О возможностях человека в задачах классификации многокритериальных объектов // Системные исследования (ежегодник), 1988.

## Контрольное задание

Дайте определения следующих ключевых понятий:

*Кратковременная память\*(КП)*

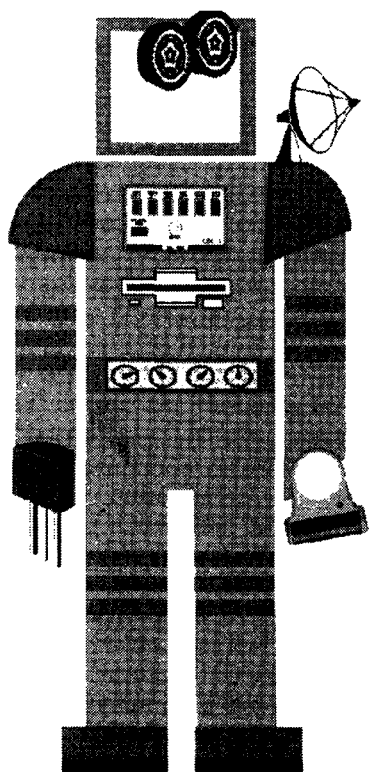
*Долговременная память (ДП)*

*Модель памяти Аткинсона и Шифрина*

*Кодирование в КП*  
*Хранение в КП*  
*Объем КП*  
*«Денежный насос» А. Тверского*  
*Извлечение из КП*  
*Прослеживание процессов принятия решений*  
*Стратегии и задачи принятия решений*  
*Кодирование в ДП*  
*Хранение в ДП*  
*Извлечение из ДП*  
*Теория поиска доминантной структуры*  
*Теория конструирования стратегий*  
*Задача многокритериальной классификации*  
*Параметры оценки поведения испытуемых*  
*Возможности человека*

6

**Повторяющиеся  
решения.  
Построение баз  
экспертных  
знаний**



*Происходящая в настоящее время битва за власть между богатыми, быстро развивающимися странами (несмотря на различие в доходах и богатстве) будет во все большей степени превращаться в сражение за распределение знаний и доступ к знаниям.*

*Alvin Toffler. Power shift*

## ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ

### Компьютерные двойники

«Сегодня у нас важный гость, друзья мои! – ректор Университета Власть многозначительно улыбнулся, оглядев своих питомцев. – Представляю вам Президента известной компьютерной компании “Сажебрейн”. Вы, наверное, слышали, что эта уважаемая фирма владеет уникальной технологией создания в компьютере точной копии человеческого разума. Господин Президент любезно согласился прочесть вам небольшую лекцию»

«Со школьной скамьи, – начал респектабельный господин, – вы знаете славные имена, принадлежащие истории: имена гениальных ученых, изобретателей, полководцев, государственных деятелей, врачей. Их великие открытия и изобретения, их блестящие победы над полчищами врагов и над смертоносными эпидемиями стали известны всему миру благодаря летописям. Труды историков прошлого и воспоминания современников сохранили для потомков их жизнеописания, художники оставили их портреты.

Но мы никогда не услышим их голоса, не узнаем ход их мыслей, нам неведомы пути их величайших прозрений, их сомнения и разочарования. И мы не можем обратиться к ним за советом, воспользоваться их мудростью, решая свои проблемы, – их нет с нами, и их знания и опыт невозвратно ушли в прошлое.

Но если мы задумаемся, отличались ли от наших современников, мыслителей и видных политиков эти выдающиеся личности, достигшие необычайно высокого интеллектуального уровня, мы должны будем принять, что это был тот же *Homo sapiens* – Человек мыслящий. Размеры его мозга и количество извилин в целом остались неизменными.

Да, нам повезло жить в другом времени – в эру зарождения и расцвета новых технологий, но не будем обольщаться – мы сами и окружающий нас мир все еще полны неразгаданных тайн. И неужели снова и снова человек, активный и ответственный, должен накапливать свой собственный опыт, спотыкаясь на своих ошибках, которые обходятся так дорого?

Сама идея о передаче человеческих знаний компьютеру существует давно. Первые системы были примитивны, и поначалу никто не воспринимал их всерьез, но со временем эти системы совершенствовались.

Ученые нашей компании создали уникальную технологию переноса человеческих знаний в компьютер. Я не могу раскрыть вам секрет этой технологии, ограничусь описанием ее возможностей. Мы приглашаем профессионалов самой высокой квалификации – министров, профессоров, инженеров, врачей – и создаем компьютерную копию каждого из них, что позволяет сохранить их опыт для будущих поколений. Работа с экспертом по созданию

его бессмертного компьютерного двойника продолжается, как правило, около года

Наши системы как бы настраиваются на профессиональную область эксперта: в них вводится содержание прочитанных им книг, описание пережитых им событий. Далее система задает эксперту сложные вопросы, обсуждает с ним гипотетические профессиональные проблемы. При этом система не просто запоминает ответы, а с помощью сети специальных датчиков фиксирует подсознательные правила эксперта и даже его эмоции. В результате такой работы с экспертом получается его довольно точная личностная копия, с которой можно "беседовать" на профессиональные темы. Мы можем ввести в систему описание сложной ситуации и получить ценный совет.

Построенные таким образом компьютерные копии умудренных жизнью деятелей политики, науки и других областей человеческой деятельности становятся собственностью нашей компании. Вкладывая в эти разработки значительные средства (компенсация времени экспертов и наших сотрудников, а также прочие затраты), мы получаем в каждом отдельном случае уникальный продукт

Эти системы находят и своих потребителей, которые желают приобрести копии того или иного признанного авторитета – получить совет лучшего профессионала в конкретной области знаний. И должен признаться, что по размерам годовой прибыли мы входим в десятку самых богатых компаний мира.

Но дело не только в этом: мы обеспечиваем человеку бессмертие, сохраняя его бесценный опыт и знания для будущего.

А сейчас я предлагаю каждому из Вас провести по 10 минут у компьютера, общаясь с интеллектуальными копиями самых известных политических деятелей Монтландии, ушедших из власти за последние 30 лет».

## **Лекция 6**

### **ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ РЕШЕНИЯ. ПОСТРОЕНИЕ БАЗ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ**

Еще не созданы технологии, позволяющие реализовывать в полном объеме копии человеческого мышления. Но уже делаются успешные шаги в этом направлении. В данной лекции представим основные идеи новой компьютерной системы, позволяющей строить точные копии экспертных знаний в задачах классификации.

#### **1. Процесс мышления как манипулирование символами**

В когнитивной психологии распространено представление о человеческом разуме как о системе переработки информации, выполняющей операции с символами [1]. Символом называют смысловой образ, которым может быть отдельное понятие, понятие, рисунок, звуковой сигнал. В рамках такого представления знание рассматривается как множество реально существующих символов. Как люди, так и компьютеры способны выполнять конкретные операции над символами: запоминать символы и отношения между ними; конструировать, изменять и удалять символы; сравнивать символы или их комбинации, находить различия; принимать решения в зависимости от результатов таких сравнений. Предполагается, что система, способная выполнять эти операции, является мыслящей. Если принять такую точку зрения, то нет принципиальной разницы между мыслящим человеком и компьютером.

Манипулирование символами — это как бы программы «думающей» системы. Сама эта система может быть устроена различным образом. Мышление человека можно адекватно представить операциями с символами; оно никак не сводится к функционированию десятков тысяч нейронов. Время активации нейрона и время выполнения мыслительных операций существенно различаются.

Г. Саймон предлагает следующую аналогию: модели, описывающие физические системы на каком-либо одном уровне общности, мало зависят от моделей, описывающих ту же сис-

тему на другом уровне [1]. Так, поведение физических систем на молекулярном уровне может быть адекватно описано независимо от того, что молекулы состоят из атомов, а атомы — из элементарных частиц.

Для изучения поведения эксперта в рамках информационной парадигмы важно то, что символы могут храниться в долговременной памяти как объективно существующие элементы. Их можно специальным образом выявлять и хранить в памяти компьютера. На основе выявления экспертных знаний (совокупности символов) строятся так называемые экспертные системы.

В рамках информационной парадигмы считается, что модель — это теория. Модель воплощается в виде компьютерной программы, после чего поведение компьютера сравнивается с поведением человека. При близком совпадении делается вывод об идентичности способов переработки информации [2].

## 2. Два типа знания

Знание, которое одно человеческое поколение передает другому, может быть условно разделено на два типа. Один из них — факты, сведения, теории, задачи и т.д., описываемые в книгах, учебниках по различным дисциплинам и областям наук. Другой тип — человеческое умение решать задачи, сочинять музыку, лечить больных, находить неисправности в машинах и аппаратах и т.д. Если знание первого типа (его называют *декларативным знанием*) может быть получено в результате первичного процесса обучения в школе, в университете, то овладеть знанием второго типа (умением) значительно сложнее. В жизни умение передается чаще всего от учителя к ученику и совершенствуется в процессе практической работы путем решения многочисленных задач. Опытного профессионала, в совершенстве владеющего умением принимать решения, называют экспертом.

Как человек становится экспертом? Какую роль в этом становлении играют опытные учителя, врожденные способности, длительность и интенсивность упражнений? Эти вопросы в течение последних лет находятся в центре внимания многих исследователей [3]. Остановимся кратко на некоторых достаточно подтвержденных характеристиках экспертного знания (умения).



### 3. Время и условия становления эксперта

Прежде всего, процесс становления эксперта является достаточно длительным. Установлено, что требуется не менее 10 лет, чтобы при благоприятных условиях стать экспертом в какой-либо области профессиональной деятельности [3]. Этот факт является универсальным: он справедлив для таких разных областей, как музыка и шахматы. Композиторы с мировой славой создавали первые произведения высокого уровня не ранее чем через 10 лет постоянного совершенствования. Лучшие гроссмейстеры, чемпионы мира, такие как Г.Каспаров, достигали высот профессионального мастерства не ранее чем через 10 лет постоянного занятия шахматами. Эти примеры можно продолжить [3].

Исследования показали, что большую роль в становлении эксперта играют постоянные упражнения. Два фактора – время упражнений (в спорте, музыке, шахматах и т. д.) и руководство опытного учителя, особенно на первых ступенях обучения, являются основными. Как выяснилось [4], природные способности человека – также важный фактор, но они играют существенно меньшую роль и могут быть сильно развиты путем постоянных упражнений, что справедливо для всех людей, не имеющих каких-либо врожденных дефектов. Наблюдения за музыкантами и спортсменами приводят к выводу, что уровень достигнутого ими мастерства прямо пропорционален времени, потраченному на упражнения.

### 4. Трансформация системы переработки информации

Считается, что за время становления эксперт приобретает новые качества. В его мозгу возникают особые структуры хранения специально организованной информации. Такие структуры принято называть *базами знаний*.

Как следует из модели человеческой памяти (см. лекцию 5), она условно делится на кратковременную и долговременную. Эти два вида памяти различаются по объему и времени переработки и хранения информации. Анализ проблемы и принятие решений осуществляются обычно в кратковременной памяти, имеющей ограниченный объем. Зато эта память достаточно быстрая, и сведения, находящиеся в ней, всегда под рукой. Объем

долговременной памяти очень велик, но доступ к ней требует значительно большего времени.

Существует достаточно проверенная гипотеза [4] о том, что эксперты в результате многолетних упражнений получают возможность быстрого доступа к определенной части долговременной памяти, создавая так называемую рабочую память, участвующую в решении задач. Таким образом, у эксперта имеется возможность не просто «запасать впрок» большой объем знаний, но и иметь к ним быстрый доступ.

## **5. Иерархические структуры хранения знаний**

Знания, которыми владеет эксперт, организованы специальным образом, облегчающим их поиск и эффективное использование. Полученная за годы обучения информация не хранится «как попало», она организована в рамках определенных структур.

Прежде всего, решая в течение многих лет похожие задачи, эксперт вырабатывает «свой взгляд», т.е. умение описывать задачи набором признаков, позволяющим успешно проводить анализ. Так, у многих шахматистов вырабатывается умение «увидеть» в позициях возможность атаки, возникающую опасность и т.д. Они умеют быстро различать типичные конфигурации расположения фигур. Врачи вырабатывают свои навыки описывать те или иные состояния больных и распознавать болезни. Как правило, возникает экономный (по составу) и эффективный (при использовании) набор признаков, описывающих состояния отдельных объектов.

Далее по таким признакам происходит группировка объектов, обеспечивающая удобное хранение информации и быстрый доступ к ней. Судя по всему, универсальной структурой является иерархическая: информация группируется по некоторым общим признакам, те в свою очередь тоже объединяются в группы и т.д. Возникает хранилище знаний, похожее на энциклопедию, снабженную индексами для быстрого поиска [5].

Исследование процессов принятия диагностических решений врачами [6] показало, что знания экспертов можно достаточно точно описать совокупностью иерархических правил, построенных на значениях диагностических признаков.

## 6. Черты поведения эксперта

Итак, память эксперта устроена специальным образом. Как это проявляется в его поведении?

Общепризнанными чертами поведения эксперта является не только быстрое решение задач, но и быстрый переход от рассмотрения задачи к ее решению. Хороший врач без промедления ставит диагноз. Гроссмейстер играет на нескольких досках одновременно, причем на хорошем уровне.

Известно, что эксперты почти безошибочно решают сложные задачи. Доказательством тому служат партии выдающихся гроссмейстеров прошлого, легенды о великих врачах-диагностах. Итак, эксперты являются уникальными личностями, обладающими бесценным знанием и умеющими эффективно его использовать.

## 7. Подсознательный характер экспертных знаний

Возникают естественные вопросы. Нельзя ли каким-либо образом сохранить экспертные знания для будущих поколений? Можно ли «выпросить» у эксперта, как он решает те или иные задачи?

Ответ на эти вопросы отрицательный. Одной из наиболее важных характеристик экспертного знания является его подсознательный характер. Экспертное знание не вербализуемо. Это значит, что, уверенно решая свои профессиональные задачи, эксперт не может объяснить другим, как именно он это делает. Так, гроссмейстер не может объяснить, как он выбирает очередной ход (кроме простых позиций), композитор — как он придумывает мелодию, врач — как он ставит диагноз (кроме простых случаев).

Считается, что умения людей не поддаются вербализации, объяснению [5]. Эксперты не имеют осознанного доступа к своим правилам принятия решений. Все попытки расспросить экспертов, как они это делают, ничего не дают, так как люди в лучшем случае могут вербализовать лишь наиболее простые элементы своих правил. В ряде случаев [6] даже прямые подсказки и обещание дополнительного вознаграждения не позволяют добиться от эксперта правдоподобного объяснения правил,

которыми он руководствуется при принятии решений. Считается, что умения даже хранятся в иных частях мозга человека, чем декларативные знания.

## **8. Трудности получения экспертных знаний**

В последние 20 лет перенос экспертных знаний в компьютер стал одной из центральных проблем искусственного интеллекта.

Зачем же нужно передавать человеческие умения и опыт компьютеру? Прежде всего для того, чтобы опытом и знаниями квалифицированного специалиста пользовались не только те люди, с которыми он сталкивается, а гораздо более широкий круг возможных пользователей. Вторая, не менее важная цель — не утратить со сменой поколений умения и знания опытных людей, оставить их в наследство человечеству.

Сама по себе возможность построения искусственной системы, обладающей человеческими умениями решать сложные задачи в тех или иных областях деятельности, весьма привлекательна. Но на пути ее решения стоят существенные трудности. Перечислим основные из них.

1. Человек не может сообщить общие абстрактные правила, которыми он руководствуется, решая ту или иную конкретную задачу, потому что его умения чаще всего хранятся на подсознательном уровне.

2. В любой области деятельности имеется большое количество (десятки и сотни тысяч) возможных практических ситуаций, при анализе которых проявляются умения человека. Желательно, чтобы этими умениями в полном объеме «овладел» компьютер, что может потребовать огромного труда и времени экспертов.

3. Люди, передающие компьютеру в том или ином виде свои знания и умения, неизбежно ошибаются. Чем бы ни была вызвана конкретная ошибка — усталостью, невнимательностью, трудностью ситуации, — безошибочных экспертов, к сожалению, не бывает.

Отметим, что существуют разные виды человеческих умений, и для построения их компьютерных аналогов нужна совокупность различных подходов. Далее мы представим подход,

позволяющий строить полные, непротиворечивые и достаточно большие базы экспертных знаний (умений) для определенного класса задач: задач классификации с явными признаками [7].

### **9. Экспертные знания в задачах классификации с явными признаками**

Задачи классификации объектов, описываемых многими признаками, широко распространены на практике. Приведем три примера.

1. Наиболее часто встречающаяся профессиональная задача в повседневной деятельности врача – диагностика заболевания по совокупности клинических и инструментальных признаков, описывающих состояние пациента.

2. Одна из распространенных задач в геологии – поиск месторождения полезных ископаемых. Сбор информации позволяет характеризовать различные районы по совокупности признаков, в той или иной степени типичных для месторождений. По этим признакам определяют наиболее перспективные районы [8].

3. Поиск причин неисправностей, поломок в сложной машине или механизме. Каждая поломка может быть описана совокупностью признаков. Именно по этим признакам инженер определяет тип неисправности [8].

Что же общего в деятельности инженера, геолога, врача? Это общее можно представить в формальном виде следующим образом. Имеются объекты, описываемые многими признаками. Необходимо отнести эти объекты к определенным классам решений. Наиболее важная характеристика таких задач принятия решений – их повторяемость: люди решают данные задачи многократно, вырабатывая навыки наиболее успешного, эффективного решения. Количество повторных решений различно для разных областей профессиональной деятельности. Врач повседневно решает задачи распознавания одного и того же объекта – признаков заболеваний в различных их сочетаниях. Задачи, связанные с выбором района для разработки, решает многократно и геолог. В отличие от врача и геолога инженер имеет дело с изменяющимися объектами (новые конструкции машин, механизмов).

Общим в приведенных выше примерах является то, что имеется полный для конкретной профессиональной задачи набор признаков, их значений и классов решений.

Признаки, значения которых характеризуют объект и позволяют отнести его к тому или иному классу, заданы так, что их измерения могут, как правило, осуществляться либо другим человеком, либо прибором. Так, измерение процента содержания в почве какого-то минерала определяется по желанию эксперта-геолога, но он не обязательно участвует в этих измерениях. Врач-эксперт определяет состав признаков, необходимых для диагностики определенного заболевания, но он использует данные электрокардиограммы или ЭХО-кардиограммы, снятых его помощником. Он может также давать советы по телефону либо по Интернету, используя описание пациента, данное другим врачом.

Совсем по-иному обстоит дело у шахматистов. Первичным материалом является расположение фигур. Анализируя расположение фигур, шахматист характеризует его для себя оценками по ряду признаков, таких как, например, возможность развития атаки, угрозы королю и т. д. Здесь даже измерение значений признаков – искусство (умение) эксперта.

Назовем задачами классификации с явно заданными признаками такие задачи, в которых искусство эксперта проявляется в основном в умении «увидеть» через *заданную* совокупность значений отдельных признаков целостный образ объекта. Задачи классификации с явными признаками широко распространены в человеческой практике. Далее речь будет идти только о таких задачах.

## 10. Формальная постановка задачи классификации

Задача классификации с явными диагностическими признаками может быть сформулирована следующим образом [7].

*Дано:*  $N$  – число диагностических признаков;  $W_i$  – число упорядоченных и, как правило, вербальных оценок качества на шкале  $i$ -го диагностического признака;  $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iW_i}\}$  – множество оценок на шкале  $i$ -го признака;  $Q$  – количество диагностических классов ( $P_1, P_2, \dots, P_Q$ ), к которым могут принадлежать классифицируемые объекты.

Декартово произведение  $A = X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_N$  определяет множество всех гипотетически возможных состояний, описываемых диагностическими признаками. Состояние  $a_i$ , принадлежащее  $A$ , описывается вектором  $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iN})$ , где  $j$ -м компонентом является одно из значений на шкале  $i$ -го диагностического признака.

*Требуется:* на основе знаний эксперта классифицировать все векторы  $a_i$ , отнеся каждый из них к одному или нескольким классам решений.

Особенностью данной постановки задачи является следующее. Предположим, что эксперт (врач, геолог, инженер) определил полный набор диагностических признаков, необходимых ему при решении задачи классификации. Этим задано полное пространство всех возможных состояний объекта исследования (больного, месторождения, механизма и т.д.). В приведенной выше постановке задачи впервые ставится целью построение полной классификации, т. е. классификации всех возможных состояний объекта исследования. В отличие от этого в других постановках речь обычно идет о выявлении какой-то части знаний [9].

Данная постановка задачи основана на предположении, что эксперт обладает полнотой знаний. Необходим подход, позволяющий их выявить.

## **11. Основные идеи метода экспертной классификации**

Для решения поставленной выше задачи были разработаны методы, основанные на идеях [7], рассмотренных далее.

### **11.1. Структуризация проблемы**

Чтобы передать знания компьютеру, нужен общий язык, характеризующий конкретную предметную область. Удобен язык признаков (или характеристик), описывающих объект исследования. Таким объектом при построении баз медицинских знаний является больной, обратившийся к врачу с жалобами на боли. Признаки или характеристики в данном случае описывают состояние больного: локализация болей, их характер, иррадиация, частота пульса, артериальное давление, температура и т. д.

Как определить перечень признаков, адекватно представляющий состояние объекта исследования? Для этой цели разра-

ботана человекомашина процедура АРИАДНА [10], которая имитирует диалог по телефону между неопытным специалистом, находящимся рядом с объектом исследования и проводящим измерения, и экспертом, находящимся далеко от объекта. Диалог строится таким образом, что компьютер задает вопросы эксперту, использует его ответы для постановки новых вопросов и т.д. Приведем пример такого диалога.

*Компьютер:* Вас просят помочь в постановке диагноза. Начинающий врач сообщает вам по телефону, что пациент без сознания и что подозревается диабетическая кома. Каким будет ваш первый вопрос?

*Эксперт:* Начало заболевания — постепенное или внезапное?

*Компьютер:* А что более характерно для диабетической комы?

*Эксперт:* Постепенное начало.

*Компьютер:* Предположим, что начало было постепенное. Каким будет ваш следующий вопрос?

В ходе диалога эксперт называет признаки и их возможные значения, упорядочивает признаки по характерности для данного заболевания, решая привычные для себя задачи постановки диагноза.

В системе АРИАДНА использованы идеи «диагностических игр», предложенные И. М. Гельфандом [11].

Итак, при подобном подходе процедуры структуризации могут быть представлены следующим образом. Компьютер ставит вопросы эксперту, приглашая его классифицировать объект исследования и называть один за другим признаки, используемые при классификации и их возможные значения для каждого класса решений.

Результатом этого этапа является совокупность признаков, необходимая для полной классификации объектов определенного типа, все возможные значения этих признаков, а также перечень классов решений.

## 11.2. Классификация состояний объекта исследования

Представленные выше характерные особенности экспертных знаний позволяют считать адекватным способом получения информации от эксперта тот, при котором эксперт решает привычную для себя задачу. Для проблем классификации с явными признаками такой задачей является анализ описания объекта исследований, данного как совокупность значений диагно-



стических признаков. Этот анализ привычен для эксперта. Можно ожидать, что при таком анализе полностью проявляются его знания.

В качестве примера приведем задачу дифференциальной диагностики тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) и острого инфаркта миокарда (ОИМ) [12,15]. Перечень диагностических признаков, указанных экспертами: 1) анамнез, факторы риска; 2) боль; 3) цвет кожи; 4) дыхание; 5) артериальное давление; 6) электрокардиограмма; 7) рентгенограмма грудной клетки; 8) эхокардиограмма; 9) ферменты крови.

На шкале каждого из признаков эксперты выделили несколько значений, причем два из них наиболее характерны соответственно — одно для ТЭЛА, другое для ОИМ. Например, для первого диагностического признака шкала имеет вид:

- в анамнезе операция, травма, роды, тромбофлебит, опухоли;
- в анамнезе стенокардия, ишемическая болезнь сердца;
- в анамнезе патологии нет;

Описание проблемы вводится в компьютер. Комбинируя значения диагностических признаков, компьютер предъявляет эксперту одно из возможных состояний объекта исследования (больного) в виде клинической ситуации. Кроме того, эксперту предоставляется перечень классов решений, из которых он выбирает свой ответ.

### 11.3. Гипотеза о характерности

При получении информации от эксперта активно используется гипотеза о различной характерности значений диагностического признака по отношению к каждому из классов. Иначе говоря, предполагается, что эксперт может упорядочить все значения каждого диагностического признака по их характерности для каждого из классов решений и что это упорядочение не зависит от значений других признаков.

Возьмем  $i$ -й диагностический признак. Два любых значения на его шкале  $x_{li}$  и  $x_{ki}$  находятся в следующем отношении характерности для класса  $P_j$ :

$$x_{li}, x_{ki} \in D_{P_j},$$

где  $D_{P_j}$  — отношение доминирования по характерности для класса  $P_j$ . Другими словами, мы ввели бинарное отношение доминиро-

вания для значений одного диагностического признака ( $x_i$  более характерен для класса  $P_j$ ).

Вернемся к проблеме дифференциальной диагностики тромбоэмболии легочной артерии и инфаркта миокарда. Одним из диагностических признаков, используемых врачом-экспертом, является цвет кожи в момент осмотра больного. Шкала данного признака имеет следующие значения:

- 1) резкий цианоз лица, шеи, верхней половины туловища;
- 2) бледность кожных покровов, акроцианоз;
- 3) нормальный цвет кожи.

По характерности для ТЭЛА эти значения могут быть упорядочены так: 3-2-1. Для ИМ упорядочение по характерности иное: 2-3-1.

Используя бинарные отношения характерности по отдельным признакам, можно построить отношение доминирования по характерности для каждого класса на множестве состояний (векторов  $a_i$ )

$$(a_i, a_j) \in D_P,$$

если для каждого из диагностических признаков значение соответствующего компонента вектора  $a_i$  не менее характерно по отношению к классу  $P_j$ , чем значение компонента вектора  $a_j$ , и хотя бы для одного компонента выполняется условие доминирования по характерности, приведенное выше.

Использование гипотезы о характерности позволяет существенно уменьшить число вопросов эксперту, необходимое для построения полной классификации.

Пусть эксперт отнес к классу  $P_j$  какое-то состояние  $a_k$  объекта исследования. Это означает, что сложившийся у него (по описанию) образ объекта характерен для данного класса. В то же время отдельные признаки не обязательно имеют самые характерные значения для класса  $P_j$ . Логично предположить, что другие состояния, описание которых совпадает с  $a_k$ , кроме значений тех диагностических признаков, которые заменены на более характерные для класса  $P_j$ , также относятся к классу  $P_j$ . На формальном языке можно утверждать, что использование сформулированной выше гипотезы доминирования по характерности позволяет построить на множестве состояний  $A$  конус

*доминирования по характерности.* Один ответ эксперта позволяет классифицировать сразу группу состояний.

Мы называем используемое правило гипотезой потому, что могут быть случаи, когда распространение по характерности некорректно. Подобные случаи возникают при зависимости диагностических признаков. Поэтому применение гипотезы о характерности должно сопровождаться ее проверкой (см. далее).

#### 11.4. Проверка информации эксперта и гипотезы о характерности

Как отмечалось, не ошибающихся экспертов не бывает. Поэтому информацию эксперта следует подвергать проверке, основанной на использовании условий доминирования по характерности.

Формально такую проверку можно представить следующим образом. Пусть на каком-то этапе диалога «компьютер—эксперт» состояние  $a_1$  было отнесено к классу  $P_j$  :  $a_1 \in P_j$ . После каждого ответа эксперта осуществлялось распространение по доминированию. Построенные конусы доминирования по характерности в общем случае пересекаются. Это означает, что некоторые состояния могут быть классифицированы несколько раз. Предположим, что при этом классификации какого-то состояния  $a_v$  различаются. Тогда, например,  $(a_v, a_1) \in D_{P_1}$ , но  $a_v \in P_l$ , т. е.  $a_v$  более характерно для класса  $P_l$ , чем  $a_1$ , однако оно оказалось отнесенным (при другом ответе эксперта) к классу  $P_l$ . Этот факт может быть как ошибкой эксперта, так и проявлением зависимости диагностических признаков.

При выявлении противоречия в классификации компьютер предъявляет эксперту на экране описания двух состояний и просит еще раз их проанализировать. Если эксперт обнаруживает свою ошибку, он ее устраняет и опрос продолжается. Если эксперт подтверждает обе противоречивые классификации, то:

- с помощью эксперта выделяется подмножество зависимых диагностических признаков;
- эти признаки объединяются в один агрегированный признак, не зависящий от остальных.

Аналитические оценки показывают, что в среднем около

25% ответов экспертов проверяются, что позволяет считать построенную базу знаний непротиворечивой и надежно отражающей экспертные знания.

### 11.5 Определение последовательности состояний для предъявления эксперту в процессе классификации

Как было показано выше, классификация состояния объекта исследования позволяет косвенно классифицировать ряд других состояний (либо уменьшить неопределенность). Это дает возможность построить полную классификацию, т. е. решить поставленную задачу, предъявив эксперту сравнительно небольшое число состояний. Для реализации такой возможности необходимо найти стратегию выбора очередного состояния для предъявления эксперту.

Система КЛАСС [7], а также последовавшие за ней системы ДИФКЛАСС [13], СТЕПКЛАСС [14] и КЛАНШ [15] отличаются друг от друга стратегией предъявления состояний эксперту.

Так, в системе КЛАСС осуществляется выбор наиболее «информативного» состояния. Предполагается, что все возможные ответы эксперта для любого неизвестного состояния объекта равновероятны. Для каждого неклассифицированного состояния вычисляются количества косвенно классифицируемых состояний при всех возможных ответах эксперта. Далее подсчитывается среднее количество, которое и характеризует информативность предъявления конкретного вектора. Компьютер осуществляет перебор всех неклассифицированных на данный момент состояний и выбирает то, для которого ожидаемое среднее количество косвенно классифицированных состояний максимально.

Существенно более эффективными (по числу обращений к эксперту) являются методы ДИФКЛАСС и КЛАНШ.

### 11.6. Трудоемкость построения баз знаний

Компьютерные системы построения полных и непротиворечивых баз знаний ставят эксперту вопрос за вопросом до тех пор, пока все состояния (все векторы  $a_i$  из множества  $A$ ) не будут отнесены к одному или нескольким классам. Для создания таких баз знаний требуется от одной—двух недель до одно-

го—двух месяцев работы с опытным экспертом (в зависимости от объема базы знаний).

Приведем конкретные данные по системе КЛАСС [7]. Для создания базы знаний по семи коматозным заболеваниям (классифицируются 2304 состояния пациента) потребовалось 12 ч работы эксперта, по 14 болезням, начинающимся с болевого синдрома в области живота (около 20 тыс. состояний), — 60 ч. Разработка первой базы знаний заняла примерно семь дней, второй — около месяца.

Система ДИФКЛАСС позволяет классифицировать в среднем до 700 состояний объекта исследования в час [13].

### 11.7. Проверка качества баз знаний

Основным критерием проверки построенных баз знаний является степень совпадения решений, содержащихся в ней и принятых экспертом, который участвовал в создании этой базы знаний. Для небольших по размеру задач (порядка 100 диагностических правил) эксперт мог оценить каждую ситуацию. Через некоторое время (две—три недели) он строил ту же базу знаний с помощью разработанной человекомашинной системы. Появлялась возможность сравнить ответы экспертов, полученные двумя разными способами.

Эксперты, решавшие задачу с малым числом противоречий, т. е. имевшие четкие правила, показали почти полное совпадение своих диагностических правил. Для больших баз знаний сравнение проводилось по отдельным ситуациям; совпадение было практически полным. Следовательно, созданная база знаний служит хорошим отражением личности эксперта, его «двойником» в определенной предметной области.

## 12. Граничные элементы классификации

Построенную классификацию можно охарактеризовать с помощью граничных элементов. Назовем граничным элементом состояние, которое в соответствии с построенной классификацией: а) принадлежит множеству Э—П; б) может оказаться в другом классе при изменении только одного значения одного диагностического признака. Граничные элементы называются так потому, что они находятся «на границе» между двумя

классами решений (они имеют многие значения признаков, характерных для каждого из классов).

Отметим, что при построении классификации граничные элементы не могут быть проверены при помощи отношения доминирования по характерности, поэтому они предъявляются эксперту повторно после построения классификации. Оказывается, что граничные элементы могут быть применены для описания правил классификации, подсознательно используемых экспертами.

### 13. Решающие правила экспертов

Исследования показали [10], что граничные объекты классов могут быть достаточно точно описаны сравнительно небольшим числом правил, имеющих структуру дерева (рис.30).

На рис. 30 верхний кружок (корень дерева) представляет совокупность значений диагностических признаков, наиболее важных для данного класса (с точки зрения эксперта). К ним

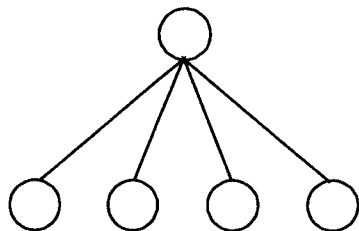


Рис. 30. Структура решающего правила

добавляется определенное количество характерных для данного класса значений менее важных признаков (нижние кружки). Например, при пяти диагностических признаках правило для класса  $P_1$  может иметь вид  $x_{21}x_{41}+C_3^2$ , или характерные для первого класса значения

второго и четвертого признаков (они обязательно присутствуют), к которым нужно добавить любые два характерных для  $P_1$  значения из оставшихся трех признаков.

Важно отметить, что как полная совокупность граничных объектов, так и описывающие их решающие правила могут быть получены только при построении полной и непротиворечивой базы знаний, содержащей решения эксперта по отношению ко всем возможным объектам. Частичная база знаний не дает представления о фактических решающих правилах, используемых экспертом.

Эксперименты, проведенные с помощью системы ДИФ-КЛАСС в задачах дифференциальной диагностики, позволили получить новые данные о системах решающих правил, используемых экспертами [12, 13]. Эти результаты можно кратко характеризовать следующим образом.

1. Граничные элементы могут быть описаны набором простых по структуре диагностических правил.

2. Каждое из правил описывает часть граничных элементов, разделяющих классы решений.

3. Эксперт тратит на классификацию граничного элемента в два-три раза больше времени, чем на классификацию состояния объекта, находящегося внутри класса.

4. Количество решающих правил ограничено объемом кратковременной памяти и не превышает восьми.

5. Чаще всего решающее правило представляет собою дерево, построенное на значениях диагностических признаков. Наиболее существенные для класса решений значения находятся в корне этого дерева. К ним добавляется совокупность сочетаний значений других признаков (например, не более двух характерных значений для этого класса из четырех признаков).

6. Основными подсознательными операциями, выполняемыми экспертами, являются:

- выделение в описании объекта наиболее информативных значений признаков (соответствующих корню дерева);
- подсчет количества характерных для данного класса и равноинформативных значений других признаков.

Приведенные результаты позволяют понять, как эксперт осуществляет классификацию объектов, описываемых многими признаками. Наиболее вероятный, согласующийся с известными данными процесс классификации состоит в следующем:

1. На основании многолетней практики эксперт «запасает» в своей долговременной памяти совокупность решающих правил, позволяющих описать границы классов решений. Число этих правил невелико и не превышает объема кратковременной памяти.

2. При предъявлении очередного объекта эксперт «переносит» в кратковременную память решающие правила, сравнивает с ними объект и относит его к соответствующему классу ре-

шений. Если эти правила не позволяют классифицировать объект, он заменяет их другими из полного множества правил, заранее выработанных на основе своей долголетней практики.

#### **14. Система диагностики заболеваний группы «Острый живот», построенная на основе метода экспертной классификации**

Метод экспертной классификации, реализованный в виде человекомашинных систем экспертного опроса, использовался для разработки медицинских диагностических систем (ДС), предназначенных для морских кораблей [16].

Работа медицинского персонала на кораблях имеет свою специфику. Она обусловлена, с одной стороны, необходимостью своевременной и точной диагностики заболеваний личного состава (для его эвакуации в случае необходимости), а с другой — ограниченностью имеющихся в распоряжении врача диагностических средств. Важной особенностью является и то, что большинство медицинского персонала кораблей — молодые врачи с небольшим стажем работы. В связи с этим цель проводимой работы заключалась в разработке ДС-советчика для молодого, недостаточно опытного врача, работающего без контактов с высококвалифицированными специалистами (корабль, экспедиция и т. п.).

Для повышения эффективности ДС при ее разработке максимально учитывались особенности практического применения системы. Был определен перечень заболеваний, которые должна уметь «диагностировать» система. При разработке ДС учитывалось, что система предназначена для диагностики заболеваний у ограниченного контингента больных — мужчин в возрасте 25–45 лет.

Большую сложность в современной хирургии представляет диагностика острых хирургических заболеваний органов брюшной и грудной полостей, объединяемых в группу «Острый живот». Многие заболевания этой группы очень опасны для здоровья и жизни больного и требуют немедленного хирургического вмешательства. Необходимость своевременной диагностики заболеваний группы «Острый живот» обусловлена и тем, что ряд из них имеет похожую или близкую симптоматику и в то же время требует разного лечения.



Для диагностики были отобраны заболевания, которые наиболее часто встречаются в практической деятельности хирурга корабля. Множество диагностируемых заболеваний составили десять заболеваний группы «Острый живот»: острый аппендицит; острый холецистит; острый панкреатит; прободная язва желудка и двенадцатиперстной кишки; острая кишечная непроходимость; тромбоэмболия брыжеечных сосудов; желудочно-кишечное кровотечение; закрытая травма живота с повреждением внутренних органов, перитонит. Проводилась также диагностика симулирующих «острый живот» заболеваний: кишечная и почечная колики; острый гастрит; пищевое отравление; инфаркт миокарда (абдоминальная форма); плевропневмония.

Для дифференциальной диагностики перечисленных заболеваний было выделено 42 признака, доступных определению традиционными методами обследования. Они включают жалобы больного и его анамнез, а также данные осмотра, пальпации (прощупывания), перкуссии и аускультации. Кроме того, предусмотрены признаки, отражающие результаты дополнительных методов исследования, которые могут быть проведены в условиях медицинской службы корабля. Сюда относятся лабораторные показатели: лейкоциты, эритроциты и гемоглобин в периферической крови, лейкоциты и эритроциты в моче, а также обзорная рентгенография органов брюшной и грудной полостей и ЭКГ. Для каждого признака были определены его возможные значения, соответствующие диагностируемым заболеваниям.

Заметим, что в рассматриваемой задаче маловероятно одновременное наличие у больного нескольких заболеваний. Однако сложность диагностики острых хирургических заболеваний органов брюшной полости приводит к тому, что даже учет 42 признаков не гарантирует постановку точного, однозначного диагноза. В результате заключение ДС может содержать несколько подозреваемых заболеваний, но при этом данные обследования больного позволяют, как правило, выделить среди них группы заболеваний с более сильной степенью подозрения.

Использование характерности значений признаков для различных заболеваний позволило организовать в системе имитацию «динамики» наблюдения за больным: в случаях, когда система ставит неоднозначный диагноз, она выдает совет врачу

повторить осмотр больного через определенное время и указывает признаки, на изменение которых надо обратить особое внимание (выявленные при первичном осмотре признаки, одинаково сильно характерные для подозреваемых заболеваний). Следует отметить, что работа лечащего врача с системой заключается не только в постановке и уточнении диагноза, но и в выборе лечения, в зависимости от наблюдаемой у больного симптоматики.

Проверка правильности решающих правил проводилась как самим врачом-экспертом (правильность постановки диагноза в типичных и атипичных состояниях), так и в ходе опытной эксплуатации системы в госпитале (проверка на реальных больных). Результаты проверки работы системы «Острый живот» в госпитале приводятся в табл. 15.

Из приведенных данных видно, что процент правильных диагнозов, устанавливаемых системой «Острый живот», достаточно высок. Более того, при ее опытной эксплуатации в течение полутора лет в госпитале в 11,1 % случаев система предлагала более точный диагноз, чем врач, проводящий первичный осмотр больного.

Изложенный выше подход к построению полных и непротиворечивых баз знаний основан на имитации привычного поведения эксперта. Как оказалось, данный подход позволяет точно следовать логике рассуждений эксперта и с большой точностью воспроизводить его решения. Так, уже после построения базы знаний, содержащей огромное число диагностируемых состояний, эксперту — автору базы знаний было предъявлено 36 описаний сложных состояний, в которых (по правилам, содержащимся в базе знаний) система выдвигала подозрения одновременно на несколько (более двух) заболеваний. Эксперту было предложено заново рассмотреть эти состояния, причем компьютерный диагноз ему не сообщался.

Эксперт проделывал эту работу дважды с месячным интервалом, и его ответы показали высокую степень совпадения с правилами, содержащимися в базе знаний созданной им системы. В 16 случаях из 36 ответы эксперта и системы совпали полностью, в 17 случаях совпадали заболевания, указанные с высокой степенью подозрения, хотя и были различия в диагно-

Таблица 15

## Результаты работы системы «Острый живот»

Нозологическая форма	Число верифициро- ванных случаев	Процент совпадений компьютерного и окончательного диагнозов
Острый аппендицит	207	97,7
Острый холецистит	68	96,8
Острый панкреатит	41	93,1
Прободная язва желудка и двенадцатиперстной киш- ки	38	96,7
Желудочно-кишечное кровотечение	42	9
Закрытая травма живота	54	7,1
Тромбоз мезентериальных сосудов	4	94,1
Перитонит	77	3 случая совпадений
Почечная колика	230	96,1
Кишечная колика	87	98,1
Гастрит, пищевая токси- коинфекция	31	97,4
Острая пневмония, плев- ропневмония	30	94,1
Острый инфаркт миокарда (абдоминальная форма)	5	94,5
Острая кишечная непро- ходимость	32	3 случая совпадений
		95,4

стике относительно слабоподозреваемых заболеваний. И только в трех случаях ответы частично не совпадали. Этот результат представляется весьма удовлетворительным, если учесть большую сложность построенной системы. Еще большую надежность и безошибочность придает системе заложенная в нее возможность динамического изменения диагнозов в сложных случаях при повторных обследованиях больных: система подсказывает врачу тактику ведения больного, признаки, за которыми надо внимательно наблюдать, время повторного обращения к системе.

Метод экспертной классификации открывает пути к точной имитации суждений эксперта, является средством преодоления существенных трудностей, связанных с приобретением экспертных знаний.

## Выводы

1. Принято различать два вида знаний: декларативное и процедуральное. Второй вид знаний принято называть умением, навыками. Навыки возникают при постоянных и многолетних упражнениях по решению тех или иных повторяющихся задач в различных областях человеческой деятельности. Человека, в совершенстве владеющего умением решать повторяющиеся задачи, принято называть экспертом.
2. Процесс достижения экспертом высокого профессионального мастерства занимает не менее 10 лет. За это время в памяти эксперта возникают структуры хранения специально организованной в иерархическом виде информации. Знания эксперта имеют в основном подсознательный характер и не могут быть вербализованы.
3. Задача построения компьютерных копий экспертных знаний является одной из наиболее сложных в области искусственного интеллекта. Основными трудностями при извлечении экспертных знаний являются их подсознательный характер, большой объем и неизбежные ошибки эксперта.
4. Подход экспертной классификации предназначен для построения полных, непротиворечивых и точных баз экспертных знаний в задачах отнесения объектов к различным классам решений. Основные черты подхода экспертной классификации:
  - структуризация проблемы;
  - предъявление эксперту описаний объектов в привычном для эксперта виде;
  - распространение решений эксперта на другие состояния (объекты) при помощи отношения доминирования по характерности;
  - проверка информации эксперта на непротиворечивость;
  - эффективная стратегия опроса эксперта.
5. Построенная полная классификация может быть представлена граничными элементами классов. Граничные элементы могут быть достаточно точно описаны с помощью простых по структуре (двухуровневое дерево) решающих правил. Число таких решающих правил сравнительно невелико.

## Список литературы

1. Simon H.A. The human mind: the symbolic level // Proc. of the American Philosophical Society. 1993. V.137. № 4.
2. Richman H., Staszewski J., Simon H.A. Simulation of Expert Memory Using EPAM IV // Psychological Review. 1995. V. 102. № 2.

3. Ericsson K.A. The acquisition of expert performance: an introduction to some of the issues // K. A. Ericsson (Ed.). The Road to excellence: the acquisition of expert performance in the arts and sciences, sport and games. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1996.
4. Ericsson K.A. Expert and exceptional performance: evidence of maximum adaptation to task constraints // Annual Review of Psychology. 1996. № 47.
5. Kihlstrom J. The Cognitive Unconscious // Science. 1987. V. 237.
6. Lewicki P., Hill T., Czyzewska M. Nonconscious Acquisition of Information // American Psychologist. 1992, June.
7. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Мошкович Е.М., Фуремс Е.М. Выявление экспертных знаний. М.: Наука, 1989.
8. Дмитриев А.Н., Журавлев Ю.И., Кренделев Ф.П. Об одном принципе классификации и прогноза геологических объектов и явлений // Известия СО АН СССР. Геология и геофизика. Новосибирск, 1968. № 5.
9. Ларичев О.И., Моргоев В.К. Проблемы, методы и системы извлечения экспертных знаний // Автоматика и телемеханика. 1991. № 7.
10. Моргоев В.К. Метод извлечения и структуризации экспертных знаний: моделирование консультаций // Человекомашинные процедуры принятия решений / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1988.
11. Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А. Структурная организация данных в задачах медицинской диагностики и прогнозирования. Препринт. (Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика»). М., 1982.
12. Ларичев О.И. Структуры экспертных знаний // Психологический журнал. 1995. № 3.
13. Ларичев О.И., Болотов А.А. Система ДИФКЛАСС: построение полных и непротиворечивых баз экспертных знаний в задачах дифференциальной классификации // Научно-техническая информация. Сер 2. 1996. № 9.
14. Фуремс Е.М., Гведенко А.С. STEPCLASS – система извлечения экспертных знаний и проведения экспертизы при решении диагностических задач // Научно-техническая информация. Сер. 2. 1996. № 9.
15. Ларичев О.И., Нарыжный Е.В. Компьютерное обучение экспертным знаниям // ДАН. 1998. Т. 332.
16. Денисов Г.Ф., Ларичев О.И., Фуремс Е.М. Автоматизированная диагностическая система «Острого живота» и заболеваний, его симулирующих, на догоспитальном и госпитальном этапах оказания неотложной квалифицированной помощи // Военно-медицинский журнал. 1988. №1.

## Контрольное задание

Дайте определения следующих ключевых понятий:

*Декларативное знание*

*Процедуральное знание*

*Эксперт*

*Условия становления эксперта*

*База знаний*

*Подсознательный характер экспертных знаний*

*Трудности выявления знаний*

*Задачи классификации с явными признаками*

*Метод экспертной классификации*

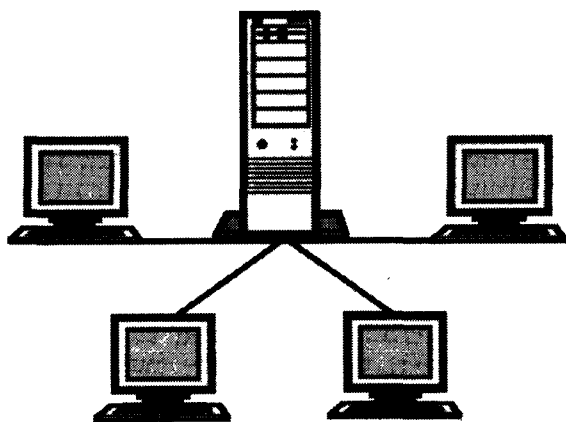
*Доминирование по характерности*

*Эффективный опрос эксперта*

*Граничные элементы классификации*

*Решающие правила эксперта*

# Коллективные решения



*Народ имеет двойное право на заведование своими делами, так как он господин над ними и так как, в последнем счете, он всегда является жертвой гурного правительства.*

Из выступления депутата бургонского дворянства Филиппо По на собрании Генеральных штатов Франции, 1484 г.



## ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ

### Компьютерная демократия Монтландии

«Завершая курс принятия решений, хочу прочесть маленькую лекцию по истории демократии в Монтландии, – обратился к студентам Университета Власти профессор истории

Как вы знаете, в каждом монтландском доме есть компьютер, и все они соединены в единую сеть. Через эту сеть Правительство страны поддерживает прямую связь с каждым человеком. Любой гражданин Монтландии может высказывать свое мнение, свои оценки событий и задать вопросы нашему Президенту и министрам. Сама по себе возможность такой связи оказала влияние на развитие демократии в нашей Республике.

Известно, что согласно Конституции выборы Президента происходят раз в 4 года. При этом каждая из четырех политических партий выдвигает своего кандидата. Выборы осуществляются путем компьютерного голосования, которое проводится в течение одного дня.

Вновь избранный Президент назначает Правительство, которое за каждый свой шаг несет ответственность перед народом: каждое из намеченных решений подвергается обсуждению всеми пользователями компьютерной сети, а после обсуждения проводится всенародное голосование. И каждые три месяца граждане высказывают мнение о доверии или недоверии Правительству. Результаты этих опросов обрабатываются, и в случае двукратного недоверия Президент должен назначить новое Правительство.

Эта система непосредственного общения народа и Правительства позволяет стране обходиться без Парламента. В истории Монтландии были случаи, когда в Парламент избирались безответственные болтуны, авантюристы и даже жулики. Теперь все это в прошлом. Исчезла необходимость содержать выборных лиц, так как само население имеет возможность постоянно выражать свою волю через компьютерную сеть. При этом наряду с мнением большинства может быть услышано также мнение меньшинства по каждому из обсуждаемых законов и решений Правительства; необходимый процент голосующих «за» проекты законов устанавливается в порядке, предусмотренном Конституцией, и зависит от важности проблемы в каждом конкретном случае.

Такая система принятия решений заставляет Президента и Правительство постоянно прислушиваться к мнению народа. Руководство страны обращается к народу как через компьютерную сеть, так и по специальным правительственным каналам дальнего действия. Принимая решения государственной важности, Правительство приводит убедительные аргументы в пользу этих решений. Бывают случаи, когда ему приходится изменять или даже отменять предлагаемые решения, если оно не может убедить необходимое большинство. Все это позволяет считать нашу демократию самой совершенной в мире»

## Лекция 7

### КОЛЛЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

#### 1. Парадокс Кондорсе

В 1996 г. перед первым туром президентских выборов в России по московскому радио передавали выступление избирателя, недовольного системой голосования. Он предлагал разрешить каждому избирателю не только голосовать за одного кандидата, но и упорядочивать всех кандидатов по своему предпочтению от лучшего к худшему. Только после этого, утверждал выступавший, будет ясно истинное отношение населения России к кандидатам в президенты.

Интересно, что большой интерес к разным системам голосования наблюдался примерно за 200 лет до этого во Франции. При этом ситуации в двух странах были близкими: и тут, и там происходил переход от тоталитаризма к новой системе, позволяющей каждому избирателю голосовать свободно и тайно.

Одним из первых, кто заинтересовался системами голосования, был французский ученый маркиз де Кондорсе (1743–1794). Он сформулировал принцип или критерий, позволяющий определить победителя в демократических выборах. Принцип де Кондорсе состоит в следующем: *кандидат, который побеждает при сравнении один на один с любым из других кандидатов, является победителем на выборах.*

Система голосования, предложенная де Кондорсе, совпадала с системой, которую предлагал 200 лет спустя избиратель в России. Каждый из голосующих упорядочивал кандидатов по степени своего желания видеть его победителем. Согласно де Кондорсе, справедливое определение победителя возможно путем попарного сравнения кандидатов по числу голосов, поданных за них. Принцип де Кондорсе предлагался как рациональный и демократический. Однако вскоре маркиз де Кондорсе столкнулся с парадоксом, получившим впоследствии его имя. Рассмотрим пример голосования в собрании представителей из 60 чел. [1]. Пусть на голосование поставлены три кандидата: А, В и С, и голоса распределились, как в табл. 16.

Таблица 16

*Распределение голосов (парадокс Кондорсе)*

Число голосующих	Предпочтения
23	$A \rightarrow B \rightarrow C$
17	$B \rightarrow C \rightarrow A$
2	$B \rightarrow A \rightarrow C$
10	$C \rightarrow A \rightarrow B$
8	$C \rightarrow B \rightarrow A$

Сравним предпочтения по отношению к парам кандидатов. Берем А и С: тогда А предпочитают  $23+2=25$ ; С по сравнению с А предпочитают:  $17+10+8=35$ . Следовательно, С предпочтительнее А ( $C \rightarrow A$ ) по воле большинства.

Сравнивая попарно аналогичным образом А и В, В и С, получаем:  $B \rightarrow C$  (42 против 18),  $C \rightarrow A$  (35 против 25) и  $A \rightarrow B$  (33 против 27). Следовательно, мы пришли к противоречию, к нетранзитивному отношению  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ .

Столкнувшись с этим парадоксом, Кондорсе выбрал «наилучшее зло», а именно то мнение, которое поддерживается большинством голосов (избранным следует считать А).

## 2. Правило большинства голосов

Изменим несколько результаты голосования, чтобы избежать парадокса Кондорсе. Предположим, что голоса распределились так, как показано в табл. 17. Нетрудно подсчитать, что при этих новых результатах голосования, в соответствии с принципом Кондорсе, избранным будет кандидат С, который при попарном сравнении побеждает двух других кандидатов.

Таблица 17

*Распределение голосов (правило большинства)*

Число голосующих	Предпочтения
23	$A \rightarrow C \rightarrow B$
19	$B \rightarrow C \rightarrow A$
16	$C \rightarrow B \rightarrow A$
2	$C \rightarrow A \rightarrow B$

Однако если мы используем другой принцип выбора: *большинство голосующих*, которые назвали данного кандидата лучшим, то победителем оказывается кандидат А. Но при этом кандидат А не набрал абсолютного большинства голосов.

Мы видим, что способ определения победителя при демократической системе голосования (один человек — один голос) зависит от процедуры голосования.

### 3. Метод Борда

Отметим еще одну процедуру голосования из множества предложенных: метод Борда [2]. Согласно этому методу, результаты голосования выражаются в виде числа баллов, набранных каждым из кандидатов. Пусть число кандидатов равно  $n$ . Тогда за первое место присуждается  $n$  баллов, за второе —  $n-1$ , за последнее — один балл.

Применим метод Борда к приведенному выше примеру (см. табл. 17). Подсчитаем число баллов для каждого из кандидатов:

$$A: 23 \cdot 3 + 19 \cdot 1 + 16 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 108;$$

$$B: 23 \cdot 1 + 19 \cdot 3 + 16 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 114;$$

$$C: 23 \cdot 2 + 19 \cdot 2 + 16 \cdot 2 + 2 \cdot 3 = 138.$$

В соответствии с методом Борда мы должны объявить победителем кандидата С.

Однако с методом Борда, как и с принципом Кондорсе, возникают проблемы. Предположим, что результаты голосования в выборном органе представлены табл 18. Подсчитав баллы в соответствии с методом Борда, получим: А — 124, В — 103, С — 137. В соответствии с методом Борда победителем следует объявить кандидата С. Однако в данном случае явным победителем является кандидат А, набравший абсолютное большинство голосов: 31 из 60.

Таблица 18

*Распределение голосов (метод Борда)*

Число голосующих	Предпочтения
31	$A \rightarrow C \rightarrow B$
12	$B \rightarrow C \rightarrow A$
17	$C \rightarrow B \rightarrow A$
2	$C \rightarrow A \rightarrow B$

Приведенные примеры позволяют понять, что парадоксы при голосовании не возникают лишь в случае, когда победитель определяется по принципу абсолютного большинства голосов. Однако такой случай нетипичен для большинства выборов в демократических странах. Обычно число кандидатов больше, чем два, и редки случаи, когда кто-то из них сразу же получает поддержку абсолютного большинства избирателей.

Интересно, что парадоксы голосования сохраняются и при введении двух туров и условии, что во второй тур выходят два кандидата, набравшие большинство голосов. Обратимся к табл. 16, составленной Кондорсе. В соответствии с предпочтениями во второй тур выходят А (23 голоса) и В (19 голосов), после чего побеждает А. Однако при небольшом усилении первоначальной позиции А: предпочтения двух избирателей (3-я строка) выглядят как  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , во второй тур выходят А (25 голосов) и С (20 голосов), после чего побеждает С. Ясно, что такой результат голосования противоречит здравому смыслу.

#### 4. Аксиомы Эрроу

Выше мы привели примеры нескольких различных систем голосования. Возможны и другие системы. В качестве примеров можно указать на систему многотурового выбора с вычеркиванием кандидатов, набравших наименьшее число голосов [2], на систему вычеркивания нежелаемых кандидатов (approval voting) [3] и т.д.

Систематическое исследование всех возможных систем голосования провел в 1951 г. Кеннет Эрроу из Стенфордского университета [4]. Он поставил вопрос в наиболее общем виде: можно ли создать такую систему голосования, чтобы она была одновременно рациональной (без противоречий), демократической (один человек — один голос) и решающей (позволяла осуществить выбор)? Вместо попыток изобретения такой системы Эрроу предложил набор требований, аксиом, которым эта система должна удовлетворять. Эти аксиомы были интуитивно понятны, приемлемы с точки зрения здравого смысла и допускали математическое выражение в виде некоторых условий. На ос-

нове этих аксиом Эрроу попытался в общем виде доказать существование системы голосования, удовлетворяющей одновременно трем перечисленным выше принципам: рациональная, демократическая и решающая [4,5].

Первая аксиома Эрроу требует, чтобы система голосования была достаточно общей для того, чтобы учитывать все возможные распределения голосов избирателей. Интуитивно это требование вполне очевидно. Заранее нельзя предсказать распределение голосов. Совершенно необходимо, чтобы система была действенной при любых предпочтениях избирателей. Эта аксиома получила название *аксиомы универсальности*.

Еще более очевидной с точки зрения здравого смысла является вторая аксиома Эрроу: *аксиома единогласия*. В соответствии с ней необходимо, чтобы коллективный выбор повторял в точности единогласное мнение всех голосующих. Если, например, каждый из голосующих считает, что кандидат А лучше кандидата В, то и система голосования должна приводить к этому результату.

Третья аксиома Эрроу получила название *независимости от несвязанных альтернатив*. Пусть избиратель считает, что из пары кандидатов А и В лучшим является А. Это предпочтение не должно зависеть от отношения избирателя к прочим кандидатам. Третья аксиома достаточно привлекательна, но не столь очевидна с точки зрения каждодневного человеческого поведения. Так, в [6] приводится убедительный пример нарушения этой аксиомы. Посетитель ресторана первоначально сравнивает блюдо А и В и хочет заказать А, потому что приготовление блюда В требует высокой квалификации повара, а, по его мнению, такой повар вряд ли есть в данном ресторане. Вдруг он замечает в меню блюдо С — очень дорогое и также требующее высокого искусства приготовления. Тогда он выбирает блюдо В, считая, что повар умеет хорошо готовить.

Часто третья аксиома Эрроу нарушается судьями в фигурном катании. Давая сравнительные оценки двум сильным фигуристам в одиночном катании, они стараются учесть возможность хорошего выступления третьего сильного кандидата, ос-

тавляя ему шансы стать победителем. Отличное выступление в произвольном катании фигуриста С, имевшего ранее не очень высокий результат в обязательной программе, может повлиять на оценки фигуристов А и В. Если А имел отличный результат в обязательной программе, судьи иногда ставят его ниже фигуриста В при примерно равном выступлении, чтобы повысить шансы фигуриста С.

Тем не менее сама возможность предъявления требования независимости к системе голосования в качестве обязательного не вызывает сомнения.

Четвертая аксиома Эрроу носит название *аксиомы полноты*: система голосования должна сравнить любую пару кандидатов, определив, кто из них лучше. При этом имеется возможность объявить двух кандидатов равнопривлекательными. Требование полноты не кажется слишком строгим для системы голосования.

Пятая аксиома Эрроу является уже знакомым *условием транзитивности*: если в соответствии с мнением избирателей кандидат В не лучше кандидата А (хуже или эквивалентен), кандидат С не лучше кандидата В, то кандидат С не лучше кандидата А. Считается, что система голосования, не допускающая нарушения транзитивности, ведет себя рациональным образом.

Определив пять аксиом — желательных свойств системы голосования, Эрроу доказал, что системы, удовлетворяющие этим аксиомам, обладают недопустимым с точки зрения демократических свобод недостатком: каждая из них является правилом диктатора — личности, навязывающей всем остальным избирателям свои предпочтения.

Результаты, выявленные Эрроу, получили широкую известность. Они развеяли надежды многих экономистов, социологов, математиков найти совершенную систему голосования.

Требование исключения диктатора приводит к невозможности создания системы голосования, удовлетворяющей всем аксиомам Эрроу. Поэтому результат Эрроу называют «теоремой невозможности».

## 5. Попытки пересмотра аксиом

Более 70 лет математики и экономисты предпринимают попытки изменить требования Эрроу, «смягчить» аксиомы, чтобы избежать вывода, столь неприятного для демократической системы голосования.

Очень интересное изменение первой аксиомы предложил Д. Блейк [7]. Если каждый избиратель упорядочивает кандидатов в соответствии со своей политической позицией, вывода Эрроу можно избежать. На практике это означает, что каждый избиратель должен упорядочить кандидатов в соответствии с их политическими взглядами. Если он сторонник рынка и монетаризма и считает, что А лучше В, В лучше С, то это означает, что А ближе всех к его позиции, а С — дальше всех.

Однако на практике при оценке кандидата избиратели чаще всего руководствуются многими критериями. Далеко не все избиратели понимают свою политическую позицию. Результаты голосований, основанных на эмоциях, широко известны.

Другим интересным изменением аксиом Эрроу является правило консенсуса, сформулированное А.Сеном. Он предложил изменить аксиому транзитивности, сохранив правило транзитивности только для случая строгого предпочтения между кандидатами. Согласно правилу А.Сена, если хотя бы один избиратель по-иному сравнивает кандидатов А и В, чем все остальные, то система голосования объявляет кандидатов эквивалентными. Ясно, что такое правило приводит к коллективному безразличию.

## 6. Теорема невозможности и реальная жизнь

Итак, серьезность результатов К.Эрроу безусловна. Нельзя отказаться от требования рациональности: система голосования не должна приводить к нетранзитивности. Нельзя не потребовать, чтобы система голосования была решающей: коллективное безразличие, неумение сделать выбор ведет в тупик. Нельзя отказаться от требования демократичности выборов: человечество заплатило (и продолжает платить) высокую цену за право каждого человека выражать свое мнение. Кроме того, демократичность в решении социальных проблем особенно важна в на-



ше время, когда меньшинство имеет массу возможностей защищать свою позицию перед большинством.

С точки зрения реальной жизни важно знать, насколько часто нарушаются все эти три условия одновременно. Исследования французских ученых показали, что при моделировании всех возможных распределений голосов избирателей и сохранении условий демократичной и решающей системы голосования рациональность нарушается примерно в 6—9% случаев [1].

Конечно, каждый раз неизвестны ни распределение голосов избирателей, ни возможности нарушения рациональности. Однако в реальных процедурах выбора есть и многие, не менее существенные недостатки. Известны ситуации манипулирования в процессе выборов, когда преднамеренное искажение предпочтений группой избирателей приводит к желаемому для этой группы результату (см. пример с двумя турами голосования, приведенный выше).

Исключительно сильное воздействие на умы избирателей оказывает так называемая «промывка мозгов» — целенаправленные кампании в пользу какого-то кандидата с искажением фактов, подтасовкой и т. д. Для стран, не имеющих опыта демократических выборов, такие явления приводят к разочарованию избирателей в демократических институтах власти. Как каждый человек, так и народы в целом должны учиться делать свой выбор, различая слова и дела политиков, трезво оценивая обещания, используя разные и независимые источники информации.

Вернемся к парадоксальному результату Эрроу. Примириться с фактом его существования помогут известные слова У.Черчилля о том, что демократия является плохой формой правления, но человечество пока не придумало ничего лучшего.

## **7. Принятие коллективных решений в малых группах**

Принятие коллективных решений не сводится только к голосованию избирателей на выборах. Решения принимаются в комиссиях, жюри, коллегиях, словом, в небольших группах. В роли ЛПР в этом случае выступает группа, принимающая ре-

шения (ГПР). Как организовать работу ГПР? Где гарантии, что люди, имеющие различные предпочтения, могут прийти к соглашению?

Традиционным способом решения этих проблем является организация совещаний (заседаний), на которых члены коллективного органа, принимающего решения, выступают как эксперты, оценивая различные варианты решений и убеждая других членов присоединиться к их мнению. Во многих случаях эти обсуждения позволяют прийти к единому мнению, которое иногда отражает компромисс между членами коллективного органа, принимающего решения.

Несомненными преимуществами такого способа принятия коллективных решений являются:

- возможность для каждого из членов ГПР высказать свое мнение и обосновать его;
- возможность для каждого из членов ГПР выслушать мнение всех других членов.

Наряду с указанными достоинствами применение традиционного способа решения задач коллективного выбора в ГПР в ряде случаев сопровождается следующими отрицательными явлениями:

- чрезмерно сильное влияние на ГПР доводов одного или нескольких членов (коалиции), направленных на выпячивание положительных особенностей предпочитаемых ими вариантов решений;
- большая и зачастую неэффективная трата времени членами ГПР, особенно при сильном расхождении мнений у некоторых из них;
- поспешное применение правила большинства, не позволяющего учесть мнения всех членов ГПР.

С попытками преодолеть те или иные отрицательные черты традиционных способов принятия коллективных решений связаны различные направления исследований. Мы остановимся далее на проблемах выбора, решаемых ГПР: даны какие-то объекты (варианты капиталовложений, акции, предприятия и т.д.). Необходимо выделить из них лучший, разделить на клас-

сы, упорядочить, т. е. решить задачи, типичные для принятия индивидуальных решений.

Принятие решений в ГПР разительно отличается от принятия индивидуальных решений. У каждого из членов группы имеется, как правило, свой взгляд на проблему. Если эти взгляды полностью совпадают либо если в группе есть диктатор, навязывающий свои предпочтения, то задача принятия коллективных решений не возникает. В общем же случае основной для ГПР является проблема поиска компромисса, приемлемого для всех членов группы.

Можно выделить три направления исследований по принятию решений в малых группах.

*1. Неантагонистические игры.* Одно из направлений в теории игр [8], ориентированное на разработку математических моделей, описывающих процесс выработки компромисса — поиск точек равновесия. Работы в данном направлении имеют, как правило, чисто теоретический характер.

*2. Групповые системы поддержки принятия решений.* Разрабатываются локальные сети для членов ГПР, а также формальные алгоритмы сравнения предпочтений на заданном множестве объектов. Как правило, системы поддержки принятия решений предназначены для ознакомления каждого из членов ГПР с мнениями других. Задача согласования мнений членов ГПР либо не ставится, либо сводится к усреднению мнений. С практической точки зрения данный подход не соответствует задачам принятия ответственных решений.

*3. Организация работы ГПР с помощью посредника* (аналитика, консультанта). Это направление исследований с практической точки зрения является наиболее перспективным. Ярким примером могут служить так называемые конференции по принятию решений (decision conference). Организация и проведение конференций по принятию решений связаны с именами С. Камерера (США) и Л.Филипса (Англия). Они первыми разработали методологические основы организации конференций по принятию решений и получили хороший практический результат.

## 8. Организация и проведение конференций по принятию решений

Предположим, что ГПР представляет собой совет директоров крупной фирмы. Фирма переживает трудности: уменьшилась доля рынка изделий, выпускаемых компанией, упали прибыли. Возникла необходимость что-то предпринять. Одни из директоров предлагают перейти к выпуску нового изделия, другие – более активно вести рекламу, третьи – модернизировать выпускаемые изделия.

Для выработки согласованной стратегии президент фирмы решил пригласить консультанта (facilitator), специализирующегося на проведении конференций по принятию решений. После получения заказа консультант посещает фирму, беседует с некоторыми из директоров, знакомится с положением дел. Конечно, он не может знать так же глубоко, как директора, все промышленные и финансовые проблемы фирмы. Но он стремится освоить деловой язык, на котором идут обсуждения, понять распределение власти и влияния среди руководителей фирмы.

Через пару недель назначается конференция по принятию решений. Она проводится в специальной комнате, технически подготовленной для этой цели: есть компьютер, есть экраны, на которые проецируются данные, обрабатываемые компьютером, есть проектор, доски, фломастеры и т.д. Конференция продолжается один-два дня (часто суббота и воскресенье), во время которых руководители заняты не текущими задачами, а только разработкой стратегии. Конференцию проводит консультант. Он дает слово участникам, представляющим различные точки зрения на обсуждаемую проблему. Он регулирует процесс обсуждения, направляя его по конструктивному пути, он сам ставит вопросы, пытаясь выяснить сильные и слабые стороны обсуждаемых вариантов решений. Он старается показать участникам конференции то общее, что объединяет различные варианты, подчеркивая элементы согласия. Он пытается помочь участникам конференции найти смешанные стратегии (если это возможно), достойно, не теряя лица, отказаться от вариантов, не-

достатки которых стали очевидными. Консультант предлагает совместно оценить варианты решений по различным критериям. Если есть расхождения в оценках, он проверяет чувствительность выбора к этим расхождениям и т. д.

Ясно, что успех конференций по принятию решений в значительной степени зависит от квалификации консультанта. Он должен обладать необходимыми личностными характеристиками: умением быстро схватывать суть обсуждаемой проблемы и имеющихся разногласий, быстро «стать своим» во время обсуждения и т. д. Он должен обладать большим практическим опытом, чтобы правильно вести дискуссию. Как опытный дирижер оркестра, он должен вовремя «взмахнуть палочкой», предоставляя слово участнику, который в данный момент наиболее продуктивно влияет на ход дискуссии. Такому набору умений нельзя выучиться по учебнику, да и таких учебников не существует. Есть отдельные публикации [9], в которых на примерах представляют основные идеи конференций по принятию решений.

Успех этих конференций приводит к впечатляющим результатам в деятельности компаний. Даже относительный успех может повлиять на дальнейшую выработку стратегии. Но и неудача оказывает сильное отрицательное воздействие, закрепляя расхождения во взглядах.

## **9. Метод организации работы ГПР**

В 1975 г. был разработан и применен один из возможных методов организации работы ГПР при проведении конференции по принятию решений [10]. В основу метода были положены следующие соображения:

- для эффективного обсуждения проблемы в ГПР полезен предварительный анализ, вскрывающий совпадение или расхождение мнений членов ГПР о достоинствах и недостатках рассматриваемых объектов;
- такой анализ должен определить те конкретные вопросы, по которым совпадают или расходятся мнения членов ГПР, выявить намечающееся единство мнений, а также образующиеся коалиции.

Практический опыт организации и проведения экспертных опросов привел к выводу об исключительной важности разбиения обсуждаемого вопроса на части. При сравнении объектов, при оценке их качества очень важно выделить составляющие этого качества — отдельные критерии, и оценить объекты по каждому из них. Такой подход позволяет:

1. Достичь большей объективности получаемой информации. При оценке объектов в целом сильнее проявляется возможность субъективных искажений. Определив положительные качества объектов, члены ГПР часто (невольно или преднамеренно) не принимают во внимание его отрицательные качества. При определении оценок объекта по многим критериям член ГПР в значительной степени выступает как квалифицированный специалист, своего рода «измеритель», определяющий оценки объекта по шкалам, общим для группы. Сознательное завышение или занижение этих оценок связано с возможной утратой репутации квалифицированного, знающего специалиста (при проверке и обсуждении этих оценок другими специалистами), в то время как давая оценку в целом, член ГПР почти всегда может объяснить ее учетом определенных качеств объекта.

2. Сделать более конкретным и четким обсуждение полученной информации. При обсуждении вопроса об оценке объекта по одному из критериев расхождения во мнениях членов ГПР, как правило, меньше, чем при обсуждении оценки объекта в целом. По узкому вопросу легче получить дополнительную информацию, легче собрать достаточно бесспорные факты.

### 9.1. Предварительные этапы

Представляется целесообразной следующая последовательность действий.

1. *Определение списка критериев.* Для рассматриваемого множества объектов ставится вопрос о выделении группы критериев, которые необходимо принимать во внимание при оценке объектов. Список этих критериев образуется в результате опроса каждого из членов ГПР. Перечень критериев, полученных от

всех членов ГПР, согласовывается с каждым из ее членов в отдельности. Иногда консультант может предложить предварительный список критериев, которые могли бы учитываться при рассмотрении подобных вопросов.

*2. Разработка шкал оценки по критериям.* На основе предварительного знакомства с терминологией, применяемой обычно в данной ГПР, консультант разрабатывает для каждого критерия шкалу из нескольких словесных качественных оценок, расположенных от лучшей к худшей. Эти шкалы согласовываются с каждым из членов ГПР. Оценки на шкалах должны быть понятными и исключать неоднозначное толкование.

*3. Сбор информации.* Членам ГПР раздаются формы, содержащие список критериев со шкалами. Число форм равно числу объектов. Каждый из членов ГПР оценивает рассматриваемые объекты по каждому из критериев — определяет одну из оценок по шкале критерия, характеризующую данный объект. При необходимости каждый из членов ГПР может через консультанта (или самостоятельно) запросить дополнительную информацию, необходимую ему для оценки объектов.

Данные, полученные при индивидуальном опросе членов ГПР, содержат информацию о степени совпадения или расхождения их мнений. Для выявления этой информации требуется специальный анализ.

## 9 2 Анализ собранной информации

Желательно иметь такой способ анализа информации, который позволял бы оценивать степень согласия между членами ГПР. Необходимо, чтобы этот способ выявлял объекты, оценки по которым наиболее противоречивы, а также критерии, оценки по которым показывают наибольшую несогласованность мнений между членами ГПР.

На наш взгляд, удовлетворяет этим требованиям способ понижения размерности данных — способ «проецирования» [11, 12]. Методы понижения размерности данных являются одной из групп методов факторного анализа [13]. Основная идея методов проецирования заключается в следующем. Пусть в

г-мерном пространстве задана конфигурация из  $n$  точек. Необходимо спроецировать эти точки в подпространство меньшей размерности (как правило, двух- или трехмерное), передав при этом с наименьшими (в смысле определенного критерия) возможными искажениями расстояния между объектами в исходном пространстве.

Как и другие методы факторного анализа, методы проецирования основаны на гипотезе о том, что существует небольшое число обобщенных факторов, которыми характеризуются рассматриваемые объекты. Справедливость этой гипотезы проверяется с помощью применения метода и изучения полученных результатов (критерий практики).

В рассматриваемом случае каждый объект может быть представлен точкой в пространстве критериев. В этом же пространстве можно введением определенной метрики расположить точки, характеризующие отношение членов ГПР к рассматриваемым объектам. Далее аналитику предоставляется возможность, применяя методы проецирования, попытаться представить на плоскости объекты и членов ГПР так, чтобы [10]:

- расстояние между членами ГПР характеризовало степень согласия между ними, малые расстояния соответствовали бы совпадению мнений;
- расстояние между членом ГПР и объектом характеризовало ценность этого объекта для данного члена ГПР; малые расстояния соответствовали бы наиболее ценным объектам;
- расстояния между объектами соответствовали бы степени их сходства по оценкам членов ГПР.

Полученное при этом распределение на плоскости точек, соответствующих объектам и экспертам, дает общее представление о степени совпадения мнений членов ГПР в целом и по каждому из объектов.

Анализ информации заключается в последовательном применении метода проецирования при «загрублении» первоначально используемой информации последовательным удалением ряда критериев, объектов, оценок и наблюдений при этом за степенью совпадения мнений членов ГПР при оставшейся ин-



формации. Таким образом можно определить те спорные вопросы (критерии, оценки, объекты), на которых необходимо сосредоточить внимание членов ГПР при последующем обсуждении.

Хотя совместное проецирование объектов и экспертов применялось ранее (задачи индивидуального шкалирования — см., например, [14]), рассматриваемая задача обладает существенными особенностями: учет оценок объектов по многим критериям резко увеличивает число связей, накладываемых на объекты и экспертов при проецировании. Поэтому появляется реальная опасность внесения больших искажений в первоначальные расстояния между объектами в многомерном пространстве.

В связи с этим принята следующая процедура.

1. Первоначально вводятся лишь расстояния между точками, соответствующими членам ГПР. Они характеризуют степень совпадения мнений членов ГПР при оценке ими объектов по многим критериям.

2. Задача проецирования решается только для точек, представляющих членов ГПР, в соответствии с введенными расстояниями. Для эффективного отображения используется критерий минимизации суммы относительных разностей исходных расстояний между точками и расстояний на плоскости. Минимизация осуществляется методом сопряженного градиента [15].

3. Поэтапно производится «загрубление» исходной информации (см. далее) до достижения удовлетворительного совпадения мнений между членами ГПР либо до появления одной или нескольких коалиций. Степень совпадения мнений устанавливается при анализе результата проецирования на соответствующих рисунках.

4. При достижении совпадения мнений между членами ГПР или членами коалиций (ценой удаления части информации) для них вводятся расстояния между экспертом и объектом и решается заново задача проецирования совместно для всех объектов и всех членов ГПР (или членов коалиции). При этом предполагается, что предыдущие этапы (удаление части информации) обеспечили достаточную близость точек, представляющих

членов ГПР, и поэтому проецирование не связано с чрезмерными искажениями.

При совместном проецировании используется критерий, аналогичный приведенному выше.

Для минимизации также применяется метод сопряженного градиента [15].

Среднее расстояние объекта от группы членов ГПР с совпадающими мнениями определяет его место в окончательном упорядочении объектов по мнению этой группы.

Определим перечень этапов анализа первоначальной информации («загрубления» информации).

1. Первоначально вводится простое метрическое (евклидово) расстояние между точками, соответствующими экспертам, как относительная сумма разностей между получаемыми от экспертов оценками объектов по многим критериям.

2. Вводится расстояние, учитывающее только совпадение точек зрения экспертов о превосходстве одного объекта над другим по каждому из критериев.

3. Если на шкалах критериев имеется по несколько оценок, то производится операция «объединения оценок», т.е. делается попытка объединить эти оценки в две, характеризующие наличие и отсутствие качества по данному критерию.

4. Определяются критерии, по которым противоречия между экспертами проявляются в наибольшей степени. Разногласия подсчитываются для каждой пары экспертов, а затем определяется коэффициент  $T_k$ , характеризующий степень несогласия экспертов по  $k$ -му критерию. Критерии ранжируются в соответствии с значением коэффициента  $T_k$ .

На каждом из перечисленных этапов анализируется последовательность рисунков, характеризующих результат проецирования. При установлении достаточного сближения группы точек, представляющих членов ГПР, процесс удаления части информации прекращается. Если такое сближение не достигается после удаления на этапе 4 половины критериев, то результатом анализа является факт глубоких противоречий между членами ГПР. Можно предположить, что такой случай на прак-

тике встречается достаточно редко. Если анализ не выявляет общего согласия между членами ГПР, то он позволяет выявить коалиции.

После выделения согласных между собой членов ГПР для этой группы вводятся метрические расстояния между объектом и членом ГПР.

Полученная при проецировании ранжировка объектов характеризует среднее мнение членов данной группы. Степень совпадения взглядов внутри группы можно оценить с помощью коэффициента ранговой корреляции Кэндалла [16], сравнивая ранжировки членов группы и общую ранжировку.

### 9.3 Проведение конференции по принятию решений

Результаты анализа сообщаются всем членам ГПР при первом обсуждении рассматриваемого вопроса. Эти результаты способствуют более эффективной организации работы ГПР: в первую очередь обсуждаются расхождения мнений по оценкам отдельных критериев, в случае необходимости запрашивается дополнительная информация и т.д. Результаты анализа, представленные в наглядном виде, направляют дискуссию членов ГПР.

### 9.4. Практический пример

Разработанный метод был использован для организации деятельности комиссии, в задачу которой входило разделение представленных на конкурс результатов научно-исследовательских работ на две группы – лучшие (первая премия) и худшие (вторая премия) [10]. Использовались следующие критерии оценок результатов работ: новизна, важность, оригинальность, широта применения, практическое значение, уровень по отношению к другим работам.

На рис. 31,а представлены первоначальные результаты «проецирования» на плоскость точек, характеризующих членов комиссии, при использовании расстояния между их оценками объектов. Из рисунка видно намечающееся единство среди большой группы членов комиссии (семь из восьми), причем три из них (№ 3, 6, 7) образуют плотную группу. Далее было осу-

ществлено «слияние» оценок объектов по критериям – результат представлен на рис. 31,б. При этом было достигнуто практически полное совпадение мнений большинства членов комиссии. Этот результат был доложен консультантом перед началом обсуждения работ, представленных на конкурс. Было сообщено также, что лишь один член ГПР (№ 5) расходится во мнении с остальными в оценке четырех объектов по трем критериям. При обсуждении удалось убедить его пересмотреть первоначальные оценки. Обсуждение продолжалось значительно меньшее время, чем аналогичные заседания подобных комиссий, причем было принято намечавшееся решение большинства.

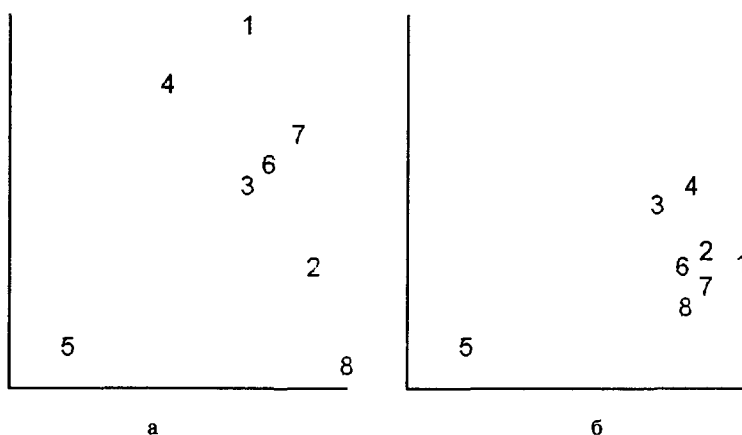


Рис. 31. Результаты проецирования на плоскость:

а – первоначальные оценки объектов; б – слияние оценок по критериям

## Выводы

1. Существует множество систем голосования. Наиболее известные из них – системы Кондорсе, Борда, правило большинства голосующих – кажутся справедливыми и убедительными с точки зрения здравого смысла. Однако они приводят к нарушению рациональности. Парадоксы не возникают, если один из кандидатов набрал абсолютное большинство голосов.
2. Результаты К. Эрроу показывают, что в принципе невозможно найти систему голосования, которая была бы одновременно решающей, рациональной и демократической. Это означает, что применение демократических процедур голосования требует внимания и тщательного анализа результатов

- 3 Широко распространенной на практике является задача принятия коллективных решений в малых группах. комиссиях, жюри и т. д. Эффективность работы таких групп могут существенно повысить методы анализа позиций членов группы и рациональная организация работы группы.

### Список литературы

1. Гюйбо Д.Т. Теории общего интереса и логическая проблема агрегирования // Математические методы в социальных науках / Под ред. П. Лазерпфельда, Н. Генри. М.: Прогресс, 1973.
2. Tannenbaum P., Arnold R. Excursions in Modern Mathematics, NJ: Prentis-Hall Inc.1992.
3. Regenwetter M., Grofman B. Approval voting, Borda Winners and Condorcet Winners: Evidence from seven Elections // Management Science. 1998. V. 44. № 4.
4. Arrow K. J. Social Choice and individual values. N.Y.: Wiley, 1951.
5. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. М.: Наука, 1974.
6. Льюс Р. Д., Райфа Г. Игры и решения. М.: ИЛ, 1961.
7. Блэйр Д. Х., Поллак Р. Э. Рациональный коллективный выбор // В мире науки . 1983. №10.
8. Нейман Д. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
9. Philips L.D. Theory of Requisite Decision Models // K. Borchherding, B.Brehmer, C.Vlek, W. Wagenaar. Research perspectives on Decision Making under Uncertainty. North Holland, Amsterdam,1984.
10. Ларичев О.И., Терехина А.Ю., Павельев В.В. Метод организации работы коллективного органа, принимающего решения // Перспективное планирование научных исследований и разработок / Под. ред. С. В.Емельянова. М.: Наука, 1974.
11. Терехина А.Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования. М.: Наука, 1986.
12. Айвазян С.А., Бежаева З.И., Староверов О.В. Классификация многомерных наблюдений. М.: Статистика, 1974.
13. Иберла К. Факторный анализ.М., 1980.
14. Bouroch I. M. Analyse des proximites et analyse des preferences // METRA. 1971. V. 10. № 4.
15. Ларичев О.И., Горвиц Г.Г. Методы поиска локального экстремума ов-разных функций. М.: Наука,1990.
16. Кэндалл М. Ранговые корреляции. М.: Статистика, 1975.

## Контрольное задание

Дайте определения следующих ключевых понятий:

*Принцип Кондорсе*

*Парадокс Кондорсе*

*Правило большинства голосов*

*Метод Борда*

*Аксиомы Эрроу*

*Теорема о невозможности*

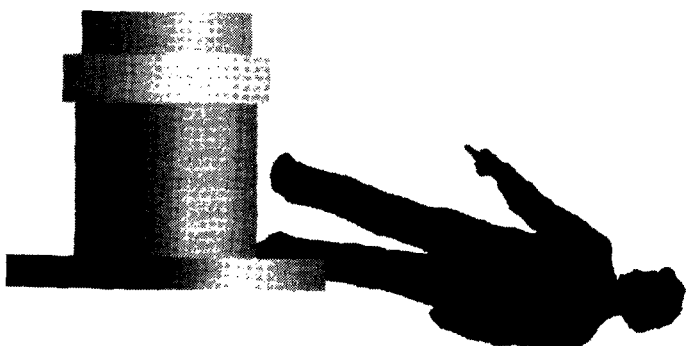
*Попытки пересмотра аксиом*

*Принятие решений в малых группах*

*Конференции по принятию решений*

*Метод проецирования*

# **Многокритериальная задача о назначениях**



*Понятие неизбежного прогресса по отношению к заданной цели кажется мне неприемлимым по отношению к человеческой сфере; но я считаю, что, вообще говоря, рост общества может измеряться возрастающей силой самоопределения, достигаемой лидерами общества. Я верю, что судьба цивилизации находится в руках этой малой группы талантливых личностей.*

***Arnold Toynbee.*** A Study of History



## ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ

### Военный переворот в Свапландии

(Статья в оппозиционной газете «Вечерний наблюдатель», выходящей в столице Монтландии – Олоне)

Главное событие последней недели – военный переворот в Свапландии, жертвой которого стал ее Монарх. Переворот возглавлял Министр безопасности, он и провозгласил себя Королем. В истории этой несчастной страны было немало государственных переворотов, но они обычно совершались представителями правящей династии, а нынешний самозванец – человек простого происхождения.

Столкновение между силами мятежников и королевской Гвардией было неизбежным, переворот подавлен с присущей этой дикой стране жестокостью, а самозванец, безжалостно истребивший всю королевскую семью, убит по приказу гвардейских генералов. Победившие монархисты провозгласили наследником престола единственного родственника погибшего Короля, его племянника – бывшего свапландского диссидента, а сейчас гражданина свободной Монтландии.

И наше Правительство вместо того, чтобы закрыть границу и предоставить Свапландии самой разбираться в своих делах, не только отпустило нашего гражданина, компьютерного аналитика, получившего прекрасное образование в знаменитом Университете Власти, но и ввергло наших налогоплательщиков в бесполезную благотворительность.

Разрешен вывоз суперсовременной технологии – Компьютерного глаза, распознающего по минимальной информации личностные параметры человека и предсказывающего его поведенческие реакции в различных ситуациях, включая экстремальные. Разработчики этого интеллектуального творения, не разглашая тайны его устройства, говорят о его безграничной памяти, содержащей все многообразие человеческих лиц и реальных событий, о его способности к моментальному визуальному анализу и к точному прогнозированию. В ходе диалога с человеком эта уникальная система строит тонкие и точные психологические оценки не только по ответам на вопросы, но и по его подсознательным, незаметным для простого глаза реакциям.

Но вернемся к событиям в Свапландии. Очевидно одно: военная хунта захватила неограниченную власть в стране, и фигура молодого Короля призвана создавать лишь видимость законности этой власти. Если же он попытается вмешаться в политическую жизнь (а он по своему складу расположен именно к такому поведению), то будет немедленно устранен.

Суперсовременный компьютер, который помог бы образованному Королю подобрать верных помощников и построить сценарий возрождения страны, теперь попадет в руки дикарей и просто пропадет.

## К событиям в Свапландии

(Статья в правительственной газете «Олон-пост», выходящей в столице Монтландии – Олоне)

За прошедшую неделю в столице Свапландии Санкте произошли исключительно важные события. Молодой Король выступил на Соборной Площади, обратившись к народу и солдатам. В своем выступлении он выразил благодарность всем, кто избавил страну от безжалостного убийцы, и обрисовал сложившуюся в стране ситуацию. В стране кризис, казна разграблена, громадные долги, надвигается голод. В этих условиях он создает новое Правительство из грамотных, бескорыстных политиков. Задача Правительства – вывести страну из кризиса, спасти народ от катастрофической нищеты, восстановить порядок, уважение к властям и законам.

За всю историю страны ни один правитель не говорил так ясно, просто и убедительно с простым народом.

Король также успел уже провести несколько встреч с самыми различными людьми. Он сформировал Военный совет, убедив генералов в невозможности «усидеть на штыках», если страна не встанет на путь реформ.

Король заново создает систему управления страной. Вместо 30 министерств в новом Правительстве будет их только 7: военное, промышленности, сельского хозяйства, финансов, образования и туризма, здравоохранения, юстиции и охраны порядка. Все претенденты на министерские посты уже прошли тестирование Компьютерным глазом. По мнению наблюдателей, Король сделал очень удачные назначения.

Новое Правительство приступило к работе. Приняты первые, самые важные решения: о гражданских правах, о раздаче хлеба голодающим и молока детям, о жестких мерах по борьбе с коррупцией и воровством, о незыблемости частной собственности и об охране ее Государством. Король и министры работают по 14–16 часов в сутки.

Быстрые, решительные шаги Короля произвели впечатление смерча, пронесшегося над сонной, дремучей Свапландией. Вместе с тем некоторые королевские указы вызывают у нас тревогу. Как стало известно из надежных источников, аресту подвергнуты некоторые богатые граждане Свапландии, не выплатившие налоги за последние три года. И хотя эти люди нажили огромные состояния, распродавая государственное золото, алмазы и совершая другие темные махинации, мы считаем такие меры принуждения нарушением прав человека. Однако следует признать, что Король сумел пополнить опустошенную казну.

Что же ждет эту несчастную страну? Сможет ли Король договориться с сохранившими влияние в стране баронами? Сможет ли он хоть что-то изменить в обозримое время?

Нам остается только внимательно следить за развитием событий.

## Лекция 8

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА О НАЗНАЧЕНИЯХ

### 1. Определение и особенности

Среди задач управления организациями весьма распространена задача распределения прав, обязанностей, работ, благ между членами коллектива, в решении которой участвует руководитель, ответственный за это распределение. Рассмотрим несколько практических примеров.

Выпускники военной академии получают назначения на места службы [1]. Каждый офицер имеет определенные пожелания относительно места службы. В свою очередь, в зависимости от места службы определенные требования предъявляются к офицеру. Желательно заполнить все вакантные места. Необходимо найти наилучшие (с точки зрения обеих сторон) назначения.

Через отдел подготовки крупного издательства проходит множество рукописей книг. Эти рукописи необходимо распределять между сотрудниками. Каждая рукопись может быть охарактеризована оценками по таким критериям, как важность, срочность выполнения, тематика. В свою очередь, сотрудники могут быть охарактеризованы оценками по таким критериям, как качество работы, индивидуальная «пропускная способность», предпочитаемая тематика и т.д. [2]. Необходимо так распределить рукописи среди сотрудников, чтобы получить приемлемое качество выполнения всех работ при минимальных ресурсных затратах.

Большая фирма переезжает в новое здание. Возникает необходимость распределить сотрудников по помещениям [3]. С одной стороны, каждый сотрудник выдвигает определенные требования к своим соседям (например, предпочитает некурящих) и к расположению комнаты (например, вблизи от коллег по совместному проекту). С другой стороны, каждое помещение имеет определенные характеристики. Необходимо найти такой вариант распределения, при котором, по меньшей мере, не ухудшился бы психологический климат в коллективе.

Во всех приведенных примерах определяется степень соответствия элементов двух множеств. Далее будем условно называть элементы одного множества субъектами, а другого — объектами.

Рассматриваемая задача имеет следующие принципиальные особенности.

1. За результат решения задачи отвечает ЛПР. Однако его роль в данной задаче иная, чем в типичных задачах принятия индивидуальных решений. В таких задачах (лекции 4, 9) понятие лучшей или худшей альтернативы определяется целиком на основе предпочтений ЛПР. В приведенных примерах рациональный руководитель обязан учитывать взаимное соответствие предъявляемых требований и возможностей по их удовлетворению, например соответствие требований, предъявляемых работодателями, и возможностей выполнения работ исполнителями.

В самом деле, пусть в рассматриваемой задаче встретилась ситуация, когда все объекты и субъекты могут быть совмещены попарно так, что:

- для каждого субъекта требования «своего» объекта точно соответствуют его возможностям, а требования других объектов не соответствуют;
- для каждого объекта «свой» субъект полностью удовлетворяет его требованиям, а прочие не удовлетворяют.

В данной ситуации имеется совокупность очевидных назначений, состоящих из пар, в которых объекты и субъекты полностью удовлетворены качествами партнеров. Рациональный руководитель может и должен признать совокупность таких назначений наилучшим решением проблемы, хотя при этом его предпочтения не влияют на решение, и он как бы не принимает участия в решении задачи. Отношение ЛПР к решаемой проблеме можно определить в данном случае следующей фразой: «Я не вмешиваюсь, если все устроится само собой наилучшим образом».

Однако в общем случае в рассматриваемой задаче не существует совокупности очевидных назначений, приводящих к решению многокритериальной задачи о назначениях (МЗН). В связи с этим возникает ряд вопросов, например, таких:

- при какой степени несоответствия характеристик элементов двух множеств допустимо образование пары, формирующей решение?
- к какому из нескольких объектов ближе по характеристикам конкретный субъект?
- к какому из нескольких субъектов ближе по характеристикам конкретный объект?

- какая из двух сравниваемых между собой пар предпочтительна в окончательном решении?

Ответы на подобные вопросы могут быть получены только на основе информации, отражающей точку зрения и предпочтения ЛПР, роль которого состоит в выработке назначений для случаев, отличающихся от идеального.

2. Каждый субъект и каждый объект характеризуются оценками по совокупности критериев. Большинство критериев имеет качественный, субъективный характер; шкалы их оценок чаще всего задаются в форме словесных формулировок. Каждая из оценок шкалы критерия имеет две формулировки, характеризующие взаимные требования и возможности субъектов и объектов.

3. Критерии, шкалы и оценки формируются ЛПР и экспертами независимо от мнения членов коллектива, к которому относится решение многокритериальной задачи о назначениях, поэтому уже на стадии формирования исходной информации обеспечивается отражение предпочтений ЛПР.

## **2. Постановка многокритериальной задачи о назначениях**

### **2.1. Содержательная постановка задачи**

Пару, образованную двумя элементами, принадлежащими разным множествам, назовем *назначением*, а совокупность  $n$  назначений, охватывающих всех участников, — *решением задачи*.

Предъявляя требования к качеству назначений, т.е. к степени соответствия характеристик элементов двух множеств, допустимой при образовании пар, ЛПР формирует область допустимых решений (ОДР), определяя обязательные назначения или исключая недопустимые с его точки зрения пары. ЛПР, формируя назначения в ОДР, стремится к одному из возможных решений, при котором нельзя улучшить качество назначения для какой-либо пары элементов, не ухудшив при этом качество назначений для других пар. Назовем такие решения *эффективными*. Среди эффективных решений ЛПР стремится отыскать такое, которое позволяет получить максимальное количество наилучших возможных назначений. Учитывая описанные выше особенности, сформулируем содержательную постановку МЗН в следующем виде.

*Дано:* элементы двух множеств,  $n$  субъектов и  $n$  объектов, каждый из которых характеризуется совокупностью оценок по  $N$  критериям;

*Требуется:* на основе предпочтений ЛПР сформировать область допустимых решений и найти в этой области эффективное решение с максимально возможным числом наилучших, с точки зрения ЛПР, назначений.

## 2.2 Критерий оптимальности решения МЗН

В качестве критерия наилучшего решения МЗН выбрано максимально возможное число наилучших назначений. Отметим, что это не единственно возможный критерий. Понятие наилучшего, с точки зрения ЛПР, решения МЗН заслуживает обсуждения. Существуют различные подходы к определению и выбору критерия. Рассмотрим некоторые из них.

Первый подход соответствует принципу: «всем поровну». Ставится задача найти среди эффективных решений такое, при котором назначения для пар элементов в равной по возможности степени отличались бы от идеальных. Иначе говоря, интересы членов коллектива (субъектов и объектов) были бы в равной степени удовлетворены в каждой паре.

Второй подход, соответствующий сформулированному выше критерию, отвечает принципу наибольшего удовлетворения максимально возможного числа членов коллектива, при этом, возможно, за счет других. Нам представляется, что именно второй принцип в наибольшей степени соответствует содержанию задачи о назначениях.

Напомним, что на этапе формирования области допустимых решений ЛПР исключает, по возможности, недопустимо плохие, по его мнению, назначения. После этого в данной области могут быть относительно худшие, но приемлемые для отдельных членов коллектива назначения.

Если элементы в паре соответствуют по своим характеристикам друг другу, то нет логических оснований запретить подобные назначения. Во многих задачах организационного управления именно удовлетворенные пары «объект–субъект» создают обстановку, способствующую наибольшей производительности труда, пониманию справедливости принятых решений.

## 2.3 Формальная постановка задачи

Чтобы сформулировать формальную постановку МЗН, введем следующие понятия, термины и обозначения. Имеются два исходных множества по  $n$  элементов:  $C\{n\}$  и  $O\{n\}$ . Обозначим:  $C\{C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n\}$  – первое множество, элементы которого назовем субъектами;  $O\{O_1, O_2, \dots, O_j, \dots, O_n\}$  – второе множество, элементы которого назовем объектами.

Имеется множество из  $N$  критериев оценки субъектов и объектов. Каждая оценка на шкале критерия имеет две формулировки, отражая взаимные требования и возможности элементов двух множеств (см. пример далее). Шкалы критериев – порядковые, с небольшим, как правило, числом оценок, упорядоченных от лучшей к худшей. Лучшая оценка имеет ранг, равный единице. Оценки могут быть как словесные, так и численные. (Заметим, что шкалы словесных оценок наиболее характерны для МЗН. Иллюстрацией могут служить приведенные выше примеры.)

Часть критериев отражает требования субъектов и возможности объектов, другая часть – требования объектов и возможности субъектов. Введем следующие обозначения:  $S_k\{S_1, S_2, \dots, S_m, \dots, S_w\}$  – множество оценок на шкале  $k$ -го критерия;  $S_{k_m}$  –  $m$ -я по порядку оценка на шкале  $k$ -го критерия;  $T_{ik_p}$  –  $p$ -я по порядку оценка на шкале требований  $i$ -го элемента по  $k$ -му критерию;  $V_{ju_t}$  –  $t$ -я оценка на шкале возможностей  $j$ -го элемента по  $u$ -му критерию.

Назовем *критериальным соответствием* (КС) различие по одному из критериев между требованиями субъекта (объекта) и возможностями объекта (субъекта). Требования  $i$ -го элемента по  $k$ -му критерию ( $T_{ik_p}$ ) удовлетворены возможностями  $j$ -го элемента по  $k$ -му критерию ( $V_{jk_t}$ ), если  $p > t$ . При этом критериальное соответствие идеально.

Назовем *назначением* любую пару  $\{C_i, O_j\}$ , образованную двумя элементами, принадлежащими разным исходным множествам. Имеется множество из  $(n \times n)$  назначений  $\{C_i, O_j\}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, n$ , для двух исходных множеств по  $n$  элементов:  $C\{n\}$  и  $O\{n\}$ .

*Идеальным назначением* назовем пару  $\{C_i, O_j\}$ , для которой взаимные требования полностью удовлетворены по всем критериям, т.е. все КС идеальны.

Назовем *решением многокритериальной задачи о назначениях* единичную диагональную матрицу  $MS(n \times n)$ , диагональные элементы которой соответствуют назначениям, формирующим решение. Заметим, что количество возможных решений для размерности исходных множеств  $C\{n\}$  и  $O\{n\}$  равно  $n!$ , что и вызывает (в общем случае) существенные трудности при решении МЗН большой размерности.

*Идеальным решением* назовем решение МЗН, все назначения которого идеальны.

Руководителя, ответственного за решение задачи, будем, как и ранее, называть ЛПР.

Предположим, что назначения могут быть проранжированы, т. е. каждому возможному назначению может быть присвоен ранг, отражающий его качество с точки зрения ЛПР. Тогда любое решение МЗН может быть охарактеризовано совокупностью рангов отдельных назначений, сформировавших решение. Теперь можно сформулировать МЗН в следующем виде.

*Дано:* два множества:  $C_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) и  $O_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ); оценка каждого элемента двух множеств по  $N$  критериям  $(k_1, k_2, \dots, k_N)$ .

*Требуется:* на основе предпочтения ЛПР определить и выбрать из множества эффективных решений такое, для которого сумма рангов лучших  $S$  назначений ( $S \leq n$ ) минимальна.

В исследовании операций известна задача о назначениях с одним критерием качества решения [4]. В однокритериальной задаче о назначениях задана стоимость образования той или иной пары, например стоимость исполнения каждой из работ каждым из исполнителей. Задан также целостный критерий — минимум стоимости выполнения всей совокупности работ. Для решения однокритериальной задачи применяются различные методы, основанные, как правило, на алгоритмах дискретного программирования. Далее мы будем использовать однокритериальную задачу о назначениях как вспомогательное средство при решении существенно более сложной многокритериальной задачи, изложенной выше. МЗН занимает промежуточное положение



между задачами принятия индивидуальных и коллективных решений. Действительно, ЛПР стремится найти наибольшее число максимально удовлетворенных субъектов и объектов, основываясь на характеристиках, отражающих интересы и индивидуальные предпочтения субъектов и объектов. Но в ситуациях, требующих выбора, ЛПР руководствуется своими предпочтениями.

Впервые близкая по постановке задача была сформулирована в [5]. В ней используется тот же критерий оптимальности и дан алгоритм решения задач малой размерности. Его применение позволило решить практическую задачу [2].

### 3. Пример

Рассмотрим задачу назначения трех сотрудников организации на три вакантные должности. С одной стороны, претендент на каждую должность обязан соответствовать определенным требованиям. С другой стороны, руководитель стремится предоставить каждому сотруднику должность, соответствующую его возможностям.

Предположим, что эксперты совместно с ЛПР, ответственным за назначения, разработали следующие критерии для оценки соответствия субъектов (назначаемых) и объектов (должностей).

*Профессиональная подготовленность:*

- 1) высокая;
- 2) удовлетворительная.

*Умение руководить коллективом:*

- 1) хорошее;
- 2) удовлетворительное.

*Практический опыт:*

- 1) большой;
- 2) небольшой;
- 3) отсутствует.

Приведем для примера формулировку оценок на «зеркальных» шкалах критерия «Профессиональная подготовленность».

*Шкала требований:*

1. Требуется работники с высокой профессиональной подготовкой.
2. Достаточно удовлетворительная профессиональная подготовка.

### *Шкала возможностей:*

1. Претендент обладает высокой профессиональной подготовкой.

2. Профессиональная подготовка претендента удовлетворительна.

Предположим, что эксперты охарактеризовали возможности субъектов следующими оценками по выбранным критериям:  $C_1=(2; 1; 2)$ ;  $C_2=(2; 2; 2)$ ;  $C_3=(2; 2; 3)$ . (Цифры в скобках обозначают номера вербальных оценок на приведенных выше шкалах критериев.) Например, второй субъект ( $C_2$ ) имеет удовлетворительную профессиональную подготовку, удовлетворительное умение руководить коллективом и небольшой практический опыт.

Характеристики объектов:  $O_1=(1; 1; 2)$ ;  $O_2=(2; 1; 2)$ ;  $O_3=(2; 2; 2)$ . Эти характеристики выражают должностные требования. Так, для занятия должности  $O_2$  требуется субъект, для которого достаточно иметь удовлетворительную профессиональную подготовку, необходимо хорошее умение руководить коллективом и достаточен небольшой практический опыт. Возникает вопрос: как найти наилучшее решение МЗН в данных условиях?

## **4. Различные типы задач о назначениях**

В рамках сформулированной МЗН содержатся несколько существенно различающихся по своим особенностям типов задач, требующих различных подходов к их решению. Для наших целей удобно воспользоваться двумя основаниями классификации задач о назначениях — характером задачи и ее размерностью.

По характеру будем различать уникальные задачи, для которых решение каждой новой задачи требует осуществить весь комплекс подготовки исходных данных заново (разработка критериев, шкал и проведение экспертных оценок), и повторяющиеся МЗН, требующие периодического решения с одним и тем же набором критериев, но различающиеся составом субъектов, объектов и набором экспертных оценок.

Другим основанием классификации служит размерность МЗН. В приведенном примере нетрудно перебрать все возможные назначения, сравнить их между собой и выбрать лучшие. Ясно,

что такая возможность существует при небольшом количестве элементов двух множеств и малом числе критериев. Однако в задачах о назначениях количество элементов может меняться от десятков до тысяч, а число критериев — от трех—четырех до десяти и более, при этом количество оценок на шкалах, как правило, три — пять [1,2,3]. В связи с этим в каждом из классов уникальных и повторяющихся задач целесообразно выделить следующие типы МЗН, различающиеся размерностью своих характеристик:

<i>Тип МЗН</i>	<i>Количество элементов</i>	<i>Число критериев, оценок на шкалах</i>
A	Небольшое	Малое
B	Небольшое	Большое
C	Большое	Малое
D	Большое	Большое

В задачах типа А имеется небольшое число элементов и малое число критериев (точнее, произведение числа оценок соответствующих шкал критериев). Задачи этого типа легко обозримы, и ЛПР может без труда найти наилучшее решение.

Для задач типа В, С и D, в которых элементов больше 10, критериев больше 5 или оба эти параметра достаточно велики, особенно необходимы системы поддержки принятия решений (СППР). Эти системы помогают ЛПР при анализе, поиске и выборе лучших вариантов решения. СППР обладают особенностями, связанными с типом МЗН, для которых они предназначены.

Для задач типа В требуются средства, позволяющие реализовать детальные алгоритмы выявления предпочтений ЛПР и построения общего решающего правила.

Для задач типа С необходимы в первую очередь средства анализа данных и средства, реализующие способы решения локальных задач о назначениях, которые возникают при конфликтных критериальных оценках.

Для задач типа D следует реализовать более упрощенный подход, ориентированный прежде всего на исключение недопустимых назначений.

Повторяющиеся задачи характеризуются неизменным набором критериев и шкал. Поэтому их удобно решать, построив

единый порядок, отражающий ценность критериальных соответствий, и используя полученные результаты для каждого нового варианта задачи.

Для задач уникального типа более подходящим может оказаться подход, основанный на построении порядка только для того набора критериальных соответствий, который характеризует конкретную рассматриваемую задачу.

Далее будут изложены подходы, методы и способы решения, применяемые в системе поддержки решения МЗН для различных типов задач. Предварительно рассмотрим проблемы, общие для СППР, предназначенной для поддержки решения многокритериальных задач о назначениях.

## **5. Основные алгоритмы решения МЗН**

Существенные трудности, с которыми связан поиск решения рассматриваемой задачи, заключаются в многокритериальности, в необходимости рассматривать задачи достаточно большой размерности и в стремлении построить такой метод решения, при реализации которого требуемая от ЛПР информация соответствовала бы возможностям системы переработки информации человеком.

### **5.1. Различные индексы соответствия**

Подход к решению МЗН основан на поиске ответов на два основных вопроса:

- 1) как определить ранги всех возможных назначений в матрице назначений  $M(n \times n)$ ?
- 2) как, зная ранги, найти решение, соответствующее введенному выше критерию оптимальности?

Ответ на первый вопрос будет получен, если есть способ определения соответствия характеристик объекта и субъекта. В свою очередь целостное соответствие будет зависеть от определения критериального соответствия. Мы будем использовать далее три способа ранжирования назначений и определения целостного соответствия характеристик объекта и субъекта.

1. *Формальное соответствие.* При этом способе на основе характеристик элементов рассчитывается индекс соответствия характеристик объекта и субъекта. Эти индексы используются в качестве ранговых показателей в матрице  $M(n \times n)$ .

2. *Относительное соответствие.* При этом способе на основе предпочтений ЛПР ранжируются по качеству назначений все субъекты по отношению к каждому из объектов и все объекты по отношению к каждому из субъектов. Суммы соответствующих рангов для пары «объект–субъект» используют как индексы соответствия и формируют матрицу  $M(n \times n)$ .

3. *Абсолютное соответствие.* При этом способе на основе предпочтений ЛПР определяется ранг каждого из возможных назначений, т. е. каждой клетке матрицы  $M(n \times n)$  присваивается ранг, который рассматривается как индекс соответствия.

Легко увидеть связь способов определения критериального соответствия с введенными выше типами МЗН. Ясно, что формальный индекс удобно использовать при решении задач типа D и на первых этапах решения задач типа B и C. Как мы увидим далее, определение относительного индекса соответствия менее трудоемко для ЛПР. Этот способ удобен для решения задач уникального характера, особенно типа C. Способ определения абсолютного индекса соответствия подходит для решения повторяющихся задачах, особенно задач типа B.

## 5.2 Поиск решения многокритериальной задачи о назначениях

В процедуре поиска решения МЗН можно выделить следующие основные этапы.

1. *Анализ исходных характеристик элементов двух множеств.* На этом этапе исходные данные преобразуются к виду, удобному для дальнейшего анализа, и проверяется возможность получения идеального решения. Поскольку процедуры первого этапа осуществляются без участия ЛПР, обозначим его как этап формального анализа данных. Завершается этап выработкой рекомендаций по выбору стратегии поиска решения МЗН в зависимости от характера и типа задачи.

2. *Формирование области допустимых решений.* На втором этапе реализуются алгоритмы, которые используют преобразованные данные и упрощают исходную задачу для того, чтобы обеспечить ЛПР возможность целостного взгляда на стоящую перед ним проблему. Система поддерживает процедуры интерактивного взаимодействия с ЛПР, который формирует область допустимых решений (ОДР) путем введения логических условий, связанных с

запретом определенных назначений или с их принудительным включением в решение МЗН. Результатом работы на этом этапе является новая ОДР и варианты возможных решений МЗН.

**3. Выявление предпочтений ЛПР.** В интерактивном диалоге ЛПР с системой выявляются предпочтения ЛПР относительно качества назначений, достаточные для полного решения задачи. В процессе реализации алгоритма выявления предпочтений ЛПР формируется порядок, отражающий качество назначений, которые входят в определенную ранее ОДР. На этом этапе в зависимости от типа задачи используются алгоритмы, основанные на применении относительного или абсолютного индекса соответствия.

**4. Поиск окончательного решения МЗН.** В зависимости от типа задач, исходных данных и результатов предыдущего этапа выбираются решающие правила и алгоритмы, реализация которых приводит к окончательному варианту решения МЗН. На этом этапе на основе сформированной тем или иным способом матрицы назначений  $M(n \times n)$  определяются и окончательно выбираются наилучшие (по сформулированному критерию) назначения, формирующие решение МЗН.

Рассмотрим эти этапы подробнее.

## **6. Этап анализа данных и проверки существования идеального решения**

Основной целью данного этапа является поиск возможности идеального решения МЗН и выработка рекомендаций по выбору стратегии дальнейшего решения МЗН.

Сначала преобразуются исходные данные, затем проверяется существование идеальных назначений, при которых взаимные требования пары «объект – субъект» полностью удовлетворены.

Идеальные назначения формируют область поиска идеального решения МЗН. Если удастся найти  $n$  идеальных пар, дающих полное решение задачи, то это означает, что идеальное решение МЗН, удовлетворяющее всем требованиям, получено без вмешательства ЛПР и анализ проблемы закончен.

При решении МЗН используются не только абсолютные, но и относительные оценки элементов двух множеств. Иначе говоря, характеристики элементов рассматриваются относительно

характеристик предполагаемых партнеров, которые являются претендентами на назначение. Для каждого элемента первого множества определяется степень соответствия его характеристик характеристикам элементов второго множества и наоборот. На основе анализа таких соответствий делается попытка определить качество назначения. На данном этапе используется формальный индекс соответствия, вычисляемый на основе исходных данных без участия ЛПР.

Формально отношения между элементами двух множеств (субъектов и объектов) могут быть охарактеризованы вектором соответствия  $R_{ij}$  ( $i, j=1, 2, \dots, n$ ),  $k$ -й компонент которого отражает степень соответствия характеристик элементов по  $k$ -му критерию. Таким образом, на этапе анализа данных эквивалентом понятия «критериальное соответствие по  $k$ -му критерию» является компонент вектора соответствия, который подсчитывается следующим образом:

$$R_{ijk} = \begin{cases} 0, & \text{если } T_{ikp} \leq V_{jkq} \ (p \geq q); \\ r_k, & \text{если } T_{ikp} > V_{jkq}; \end{cases}$$

здесь  $T_{ikp}$  – требование  $i$ -го элемента одного множества (субъекта или объекта), выражаемое  $p$ -й по порядку оценкой на шкале требований по  $k$ -му критерию;  $V_{jkq}$  – соответствующие возможности  $j$ -го элемента другого множества, выражаемые  $q$ -й оценкой на шкале возможностей того же  $k$ -го критерия;  $r_k$  – число оценок на шкале  $k$ -го критерия, на которой требования превышают возможности.

Поскольку оценки на шкале имеют две формулировки (см. выше) и упорядочены от лучшей к худшей, то  $R_{ijk} = 0$ , если  $p \geq q$ , где  $p, q$  – номера оценок на шкалах требований и возможностей  $k$ -го критерия. Таким образом, условие  $R_{ijk} = 0$  означает, что требования по  $k$ -му критерию удовлетворены, а условие  $R_{ijk} > 0$  – неудовлетворенность требований. Если требования по  $k$ -му критерию удовлетворены, то по определению КС по этому критерию является идеальным и обладает наивысшим качеством.

В то же время для стадии анализа, на которой происходит поиск идеального решения МЗН, важен лишь факт, указывающий на то, что возможности удовлетворяют (или превышают) выдвину-

тым требованиям, а степень удовлетворения требований несущественна. Поэтому естественно принять, что оценки возможностей, превышающие уровень удовлетворения требований, «одинаково хороши», поскольку позволяют отнести назначение с идеальными по каждому критерию КС к идеальному назначению.

Множество векторов соответствия  $R_{ij}$  образует  $(n \times n)$  таблицу сходства, в клетке  $(i, j)$  которой помещен вектор соответствия субъекта  $C_i$  и объекта  $O_j$ .

В предлагаемой процедуре ускоренного поиска решений для каждого вектора соответствия формируется агрегированный критерий — свертка вектора соответствия. Введем следующие обозначения элементов свертки вектора соответствия: значение 0 соответствует паре с полностью взаимно удовлетворенными требованиями по всем критериям; значение 1 — не удовлетворено одно из требований, причем степень неудовлетворенности соответствует одной градации шкалы; 2 — не удовлетворено одно из требований на две градации шкалы либо два различных требования на одну градацию каждое и т.д.

Предполагая равноценность компонентов вектора соответствия и их шкал, значение свертки вычисляют как сумму отклонений по каждому из компонентов вектора соответствия. Введем обозначение  $G_{ij}$  для формального индекса соответствия  $R_{ij}$ . Тогда суммарная величина критериальных соответствий  $G_{ij} = \text{SUM}(R_{ijk})$ ,  $k=1, 2, \dots, N$ , при сделанных выше предположениях может служить формальным индексом качества назначения, которое является наилучшим при  $G_{ij} = 0$  (идеальное назначение) и ухудшается с увеличением  $G_{ij}$ .

Следствием предположения о равной важности критериев и их шкал является вывод о том, что существует единая шкала качества назначений. При этом назначения, имеющие одинаковое значение свертки, равноценны, т.е. обладают равным качеством. Таким образом, в рамках сделанных на данном этапе предположений качество назначения монотонно меняется с изменением значения свертки, т.е. качество назначения по определению равно значению  $G_{ij}$  формального индекса соответствия.

Для того чтобы реализовать цель этапа анализа данных — проверить, возможно ли идеальное решение МЗН, воспользуемся решением однокритериальной задачи о назначениях (ЗН) на



множестве элементов таблицы формальных индексов соответствия. Решение ЗН, полученное для минимума суммы значений агрегированных критериев (максимизирующее суммарное качество назначений), является идеальным решением МЗН, если минимум равен нулю. Формальной оценкой качества решения может служить значение достигнутого минимума (т. е. суммарное качество назначений, входящих в окончательное решение).

Проиллюстрируем применение процедур этапа анализа данных на приведенном выше примере. Исходные данные — оценки по критериям трех субъектов и трех объектов — можно представить в виде табл. 19.

Таблица 19

*Значение оценок по критериям субъектов и объектов*

Объект	Критерий			Объект	Критерий		
	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>		К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
C <sub>1</sub>	2	1	2	O <sub>1</sub>	1	1	2
C <sub>2</sub>	2	2	2	O <sub>2</sub>	2	1	2
C <sub>3</sub>	2	2	3	O <sub>3</sub>	2	2	2

Таблица сходства, составленная из векторов соответствия, имеет вид табл. 20. Легко увидеть, что при заданных условиях существуют три идеальных назначения (векторы со всеми нулевыми компонентами): {C<sub>1</sub> — O<sub>2</sub>}; {C<sub>1</sub> — O<sub>3</sub>}; {C<sub>2</sub> — O<sub>3</sub>}.

Таблица 20

*Векторы соответствия*

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
O <sub>1</sub>	100	110	111
O <sub>2</sub>	000	010	011
O <sub>3</sub>	000	000	001

Для того чтобы проверить, возможно ли идеальное решение МЗН, сформируем таблицу формальных индексов соответствия. Таблица сходства (табл. 20) может быть представлена в виде таблицы свертки (табл. 21).

Таблица 21

Индексы соответствия

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$O_1$	1	2	3
$O_2$	0	1	2
$O_3$	0	0	1

Воспользуемся решением однокритериальной ЗН на множестве элементов этой таблицы, минимизирующим сумму формальных индексов  $G_{ij}$ , при дополнительном условии поиска максимального количества идеальных назначений. Из решения задачи следует, что в приведенном примере идеального решения МЗН не существует. Любое возможное решение для рассматриваемого примера содержит по меньшей мере одно неидеальное назначение. Например, решение  $\{ \{C_1 - O_2\} \{C_2 - O_3\} \{C_3 - O_1\} \}$  включает назначение  $\{C_3 - O_1\}$ , отличное от идеального ( $G_{31}=3$ ). Следовательно, для рассматриваемого примера процедуры поиска решения МЗН должны быть продолжены.

В диалоге ЛПР с системой выясняются основные характеристики рассматриваемой задачи, касающиеся уникальности и размерности задачи, а также мнение ЛПР относительно типа задачи; предлагаются те или иные стратегии поиска решения.

Ниже мы обсудим, каким образом ЛПР может воспользоваться рекомендациями системы при выборе стратегии поиска решения в зависимости от характера и типа задачи.

## 7. Формирование области допустимых решений

Основными целями этого этапа являются: формирование ОДР и выявление типичных вариантов решений, возможных для выбранной ОДР. Для того чтобы понять, каких результатов можно достичь при заданных исходных данных, ЛПР необходимо иметь возможность быстро получить целостное представление о решаемой задаче.

Для помощи ЛПР в решении этой проблемы СППР МЗН предлагает набор индикаторов, отражающих целостные характеристики задачи, и процедуру ускоренного поиска решений — быстрой «прикидки», позволяющей увидеть, какого типа реше-

ния могут быть получены при конкретных исходных данных и выбранных ограничениях [6,7].

Процедура ускоренного поиска решений проводится в рамках понятий, введенных на этапе анализа данных. В этой процедуре используется формальный индекс соответствия  $G_{ij}$  и предполагается практическая равноценность равных по значению компонентов вектора соответствия.

Несмотря на грубое предположение о примерной равноценности критериев и градаций их шкал, предъявление таблицы уровней взаимной удовлетворенности (элементами которой являются значения формального индекса соответствия) в значительной степени достигает цели, представляя общую ситуацию. Таблица уровней остается обозримой для достаточно больших размерностей, и при взгляде на нее ЛПР легко выделяет фрагменты и отдельные пары, требующие более глубокого анализа. Выделенные фрагменты могут детально изучаться.

После просмотра таблицы свертки у руководителя появляется возможность изменить допустимую область поиска решений. Для этого система предлагает ему воспользоваться следующими возможностями:

- включать в окончательное решение определенные пары «объект — субъект»;
- вводить запрет на образование определенных пар;
- накладывать ограничение на допустимый уровень расхождения оценок по отдельным критериям;
- накладывать ограничение на допустимые значения свертки векторов соответствия.

ЛПР может формировать и более сложные логические требования к качеству решения. Примером может служить следующее правило: если по критерию  $k_1$  возможности субъекта не ниже оценки  $q_1$  и соответствующие требования объекта не выше  $p_2$ , а по критерию  $k_3$  существует полная взаимная удовлетворенность, то следует включить такие пары «субъект — объект» в число потенциально возможных пар при поиске окончательного решения.

Основная идея ускоренного поиска вариантов решения заключается в том, что на множестве разрешенных элементов ищутся возможные решения классической однокритериальной

ЗН. При этом минимизируется сумма  $G_{ij}$  и отыскивается решение с максимальным количеством наилучших назначений.

Разработаны и используются достаточно быстрые алгоритмы, основанные на классических методах решения задачи о назначениях в исследовании операций [8], применение которых в СППР позволяет за приемлемое время помочь ЛПР в выявлении особенностей рассматриваемой задачи. Алгоритмы для решения этой проблемы подробно описаны в [6,7]. Принципы, на которых основаны эти алгоритмы, заключаются в том, что без ухудшения качества решения последовательно выделяются максимально возможные группы назначений наивысшего качества, начиная с группы идеальных назначений.

Очевидно, что решение МЗН не теряет своих эффективных свойств и при введении дополнительного условия — получения в ОДР решения с максимально возможным количеством наилучших назначений.

Проиллюстрируем работу процедур формирования ОДР и поиска вариантов решений на приведенном примере. Анализируя табл. 21, ЛПР может, например, принять решение о том, что назначение  $\{O_1 - C_3\}$  недопустимо, так как степень взаимной неудовлетворенности элементов слишком велика. После введения запрета на формирование этого назначения система проверяет, есть ли решение задачи в целом. Оно существует и не единственное. Одно из возможных решений имеет вид  $[\{C_1 - O_1\} (1) \{C_2 - O_3\} (0) \{C_3 - O_2\} (2)]$  (в круглых скобках указаны значения  $G_{ij}$ , отражающие качество назначений).

При введении каждого ограничения система информирует ЛПР о том, возможно ли решение, а если да, то какой тип решения возможен — сколько назначений и какого уровня неудовлетворенности может быть сделано в новой области допустимых решений. В приведенном выше простом примере после введения запрета на образование пары  $\{O_1 - C_3\}$  возможны следующие варианты типовых решений:

Уровень неудовлетворенности	0	1	2
Решение 1	1	1	1
Решение 2	0	3	0

Первое решение соответствует критерию оптимальности, принятому для решаемой задачи (отыскать наилучшее решение с максимальным числом наилучших назначений). В первом решении имеется одно идеальное назначение, одно назначение с уровнем неудовлетворенности 1 и одно — с уровнем неудовлетворенности 2. Второе решение, вариант которого также представляется ЛПР для анализа, соответствует условию, при котором в решение не включаются назначения наихудшего качества, имеющиеся в ОДР. Анализируя предъявленную пару решений, ЛПР получает представление о том, в каких рамках ему следует формировать ОДР.

Стратегию формирования области допустимых решений ЛПР выбирает сам и обычно находит ее за приемлемое время, которое, конечно, зависит от его опыта и темперамента. Тем не менее процесс поиска оказывается не только не утомительным, но часто и увлекательным, открывая ЛПР неожиданные для него типы решений, обусловленные конкретными исходными данными. Достаточно часто этот процесс вначале выглядит как случайный поиск области допустимых решений, который затем переходит в регулярный поиск ОДР в выбранной окрестности.

Следует еще раз подчеркнуть, что система предоставляет ЛПР практически неограниченные возможности в выборе подходящей ему стратегии поиска приближенного решения, т.е. в формировании ОДР.

На данном этапе ЛПР выбирает удовлетворяющий его тип решения на основе определенных целостных характеристик, таких как качество решения (минимум, достигнутый при решении однокритериальной задачи о назначениях), количество идеальных назначений и распределение уровней неудовлетворенности (качества назначений) в окончательном решении. Основными при этом остаются предположения о практической равноценности критериев и шкал их оценок, что может служить источником неудовлетворенности руководителя полученными вариантами конкретных решений, даже несмотря на то, что они формально удовлетворяют выбранному критерию оптимальности.

Если ЛПР удовлетворен полученным на этом этапе решением, проблема может считаться решенной. Однако, как правило, руководитель хочет получить решение, более полно отвечающее

его предпочтениям. Поэтому на следующем этапе, после формирования области допустимых решений, ЛПР стремится выразить свои предпочтения относительно качества назначений и упорядочить назначения на основе своих предпочтений.

## **8. Выявление предпочтений ЛПР**

Решения МЗН, полученные на предыдущем этапе в рамках выбранной ОДР, не равнозначны для ЛПР даже в случае их кажущейся эквивалентности. Действительно, равные отклонения от идеального назначения по разным критериям могут иметь для ЛПР различную ценность: одни из этих отклонений могут быть с точки зрения ЛПР более существенны, чем другие.

Необходимо выявление предпочтений ЛПР относительно качества назначений, возможных в области допустимых решений, и упорядочение назначений по качеству на основе выявленных предпочтений.

### **8.1 Статистические оценки сложности задач выявления предпочтений ЛПР**

Окончательное определение качества назначений основано на сравнении (в том или ином виде) ценности назначений для ЛПР. Ответ на вопрос о том, насколько сложны для человека такие задачи сравнения, в определенной мере позволяют дать результаты статистического моделирования, приведенные в [5,9].

Предполагалось, что каждый компонент векторных оценок элементов двух множеств может быть получен случайным образом (одна из возможных оценок на шкале критерия). При этом предположении подсчитывались вероятности доминирования одного вектора соответствия другим по всем критериям, по всем критериям, кроме одного, и по всем критериям, кроме двух. Результаты моделирования показывают, что такого рода доминирование векторов соответствия наблюдается в подавляющем числе случаев. Так, при  $N=5$  (число критериев) и  $T=3$  (число оценок на шкалах критериев) один вектор доминирует над другим с вероятностью 0,616 по всем критериям и с вероятностью 0,356 по всем критериям, кроме одного. Следовательно, с вероятностью 0,972 ЛПР либо вообще не должен сравнивать векторы, либо сравнивать их только по двум критериям.

В табл. 22, где  $T$  – число градаций шкалы,  $N$  – число критериев, приведены вероятности того, что: либо один вектор соответствия доминирует над другим, либо доминирует по всем, кроме одного, критериям.

Таблица 22

*Вероятности доминирования*

$T \backslash N$	2	3	4	5	6	7
2	1	1	0,988	0,994	0,985	0,972
3	1	1	0,987	0,972	0,935	0,889
4	1	1	0,983	0,951	0,900	0,820
5	1	1	0,978	0,931	0,857	0,771

Конечно, до получения исходных данных нельзя оценить заранее, насколько близки по своим характеристикам элементы двух множеств. Однако результаты статистического моделирования показывают, что при числе критериев, не превышающем семь, векторы соответствия отличаются друг от друга по малому числу критериев.

## 8.2 Основная процедура выявления предпочтений ЛПР

Выше показано, как используется формальный индекс соответствия на этапах поиска идеального решения и формирования ОДР.

Предпочтения ЛПР служат основой для ранжирования назначений, т. е. ранжирования соответствия возможностей различных субъектов (объектов) требованиям объектов (субъектов).

Наряду с введенным ранее определением КС как формально рассчитываемого индекса далее будут использованы два понятия:

$КС_0$  – критериальное соответствие характеристики субъектов (объектов) по отношению к заданному объекту (субъекту) по  $k$ -му критерию, полученное в результате ранжирования соответствия характеристик выбранного субъекта (объекта) по отношению ко всем объектам (субъектам);

$КС_a$  – критериальное соответствие любой пары «объект–субъект» по  $k$ -му критерию, полученное в результате попарного ранжирования назначений.

Для формального определения  $КС_0$  назовем субъект (объект), по отношению к которому определяются  $КС_0$ , *опорным*.

Определим понятие критериального соответствия  $КС_0$  как пару, объединяющую уровень требований опорного элемента назначения  $\{C_i - O_j\}$ , например  $i$ -го субъекта по  $k$ -му критерию ( $T_{ikp}$ ), и значение соответствующего компонента вектора соответствия ( $R_{ijk}$ ). Тогда, по определению, критериальное соответствие назначения  $\{C_i - O_j\}$  по  $k$ -му критерию обозначим как  $КС_{oijk} = \{T_{ikp}, R_{ijk}\}$ .

Формулировка понятия  $КС_a$ , не связанная с конкретным назначением, такова:  $КС_a$  — это пара, объединяющая  $p$ -е требование по  $k$ -му критерию и степень удовлетворения этих требований (т. е. разность  $r$  между номерами оценок на шкалах требований и возможностей данного критерия). Такая формулировка позволяет ввести для  $КС_a$  по  $k$ -му критерию следующее обозначение:  $КС_{ak}^{pr} = \{T_{kp}, T_{kp} - V_{kq}\}$ , здесь  $T_{kp}$ ,  $V_{kq}$  —  $p$ -й и  $q$ -й номер оценок на шкалах требований и возможностей  $k$ -го критерия соответственно.

В дальнейшем там, где это не приведет к недоразумению, для обеих формулировок понятия критериального соответствия будем пользоваться обозначением  $КС$ .

Введем понятие ценности  $КС$  для ЛПР как функции  $КС$ , обозначив ее  $f(КС)$ , и сделаем следующие предположения относительно свойств этой функции:

- существуют минимальные и максимальные значения  $f(КС)$ ;
- при заданном уровне требований значение функции  $f(КС)$  возрастает с уменьшением значения компонента вектора соответствия  $R_{ijk}$ , становится максимальным и остается таковым при  $R_{ijk} = 0$ ;
- при заданной разности ( $T_{kp} - V_{kq}$ ) или заданном значении  $R_{ijk}$  значения функции  $f(КС)$  при изменении требований могут изменяться сложным образом, в соответствии с предпочтениями ЛПР.

Введенные понятия основаны на предположении о том, что с точки зрения ЛПР важность критериев может быть различна.

Цель основной процедуры выявления предпочтений ЛПР заключается в определении и упорядочивании ценностей  $КС$  и выявлении на их основе ценности (качества) назначений с точки зрения ЛПР.

Поскольку, по предположению, значения функции  $f(КС)$  зависят от предпочтений ЛПР, справедливо утверждение о том,



что ЛПР в состоянии проводить сравнение ценностей критериальных соответствий.

Согласно подходу, принятому при вербальном анализе решений (лекция 9), в качестве основной процедуры выявления предпочтений ЛПР выбрана процедура попарного сравнения отдельных критериальных соответствий. Такой выбор опирается на следующие соображения. Известно, что для ЛПР операция попарного сравнения изменений качества на шкалах двух критериев достаточно проста. Человек совершает эту психологически корректную операцию с малым числом противоречий [10].

Для операции попарного сравнения КС можно использовать уже известный способ проверки ЛПР на непротиворечивость — замкнутую процедуру (лекция 9). В такой процедуре все объекты (в данном случае КС) сравниваются между собой. В результате таких сравнений появляется избыточная информация, используемая для проверки надежности ранжирования КС по их ценности для ЛПР.

Процедуры подобного рода тщательно отработаны, и полные алгоритмы взаимодействия ЛПР с системой приведены в [10]. Там же обсуждаются проблемы, связанные с зависимостью упорядочиваемых компонентов между собой, и указываются пути решения этих проблем.

Различие при сравнениях  $КС_0$  и  $КС_a$  заключается в следующем. В основной процедуре перед ЛПР ставится задача попарного сравнения ценности отдельных  $КС_a$  при предположении, что прочие компоненты вектора соответствия имеют нулевые значения.

Вопросы, предъявляемые системой ЛПР, следующие.

Что вы предпочитаете:

*Альтернатива 1.* Неудовлетворение требований объекта (субъекта) по критерию  $K_1$  — вместо оценки  $K_{1a}$  предлагается худшая оценка  $K_{1b}$ ?

*Альтернатива 2.* Неудовлетворение требований объекта (субъекта) по критерию  $K_1$  — вместо оценки  $K_{1c}$  предлагается худшая оценка  $K_{1d}$ ?

Выберите один из ответов:

Альтернатива 1 более предпочтительна.

Альтернатива 2 более предпочтительна.

Альтернативы равноценны.

При сравнении  $КС_0$  делается предположение, что прочие компоненты вектора соответствия принадлежат опорному элементу.

В результате полученных от ЛПР ответов (выявленных предпочтений) для любых двух КС устанавливается одно из

отношений — эквивалентности или превосходства по ценности одного из КС.

Так как все КС сравниваются попарно, то общее число вопросов к ЛПР при  $m$  критериальных соответствиях равно  $m(m-1)/2$ . При этом КС сравниваются как непосредственно, так и косвенно (через результаты сравнения других КС), что позволяет обнаруживать противоречия в ответах ЛПР. Выявленные противоречия предъявляются ЛПР для анализа и устранения.

Совокупность непротиворечивых результатов сравнений позволяет упорядочить КС по ценности для ЛПР. Ранжирование КС по их ценности является результатом основной процедуры выявления предпочтений ЛПР.

В дальнейшем под  $f(\text{КС})$  будем понимать ранг ценности критериального соответствия (критериальному соответствию, обладающему максимальной ценностью, соответствует высший ранг). Заметим, что принятое определение допускает существование группы рангов одного значения.

Согласно результатам статистического моделирования векторы соответствия различаются лишь небольшим количеством критериальных соответствий. Поэтому сравнение отдельных КС между собой и выяснение их ценности для ЛПР создает надежную основу для сравнения назначений.

Введем понятие ценности назначения  $\{C_i - O_j\}$  для ЛПР как функции совокупности КС, формирующих назначение, обозначив ее  $F(\{C_i - O_j\})$ . Возникает задача упорядочения назначений по ценности (качеству). В качестве исходной информации для процедуры упорядочения назначений по качеству используется таблица, элементами которой являются векторы соответствия. Однако теперь компонентами векторов соответствия являются значения ценности КС по каждому критерию, упорядоченные в соответствии с предпочтениями ЛПР.

### 8.3. Выявление предпочтений ЛПР: вспомогательная процедура

Рассмотренная выше основная процедура достаточна для сравнения КС<sub>0</sub>. Но при сравнении КС<sub>а</sub> возникает дополнительная проблема.

Получение корректных результатов в процессе попарного сравнения альтернатив и выявления предпочтений ЛПР связано с известным предположением о независимости критериев по

предпочтению. В большинстве реальных приложений это предположение выполняется в результате разумного выбора экспертами набора независимых критериев. Однако избежать завуалированных связей между критериями удастся не всегда. Указанием на возможное присутствие таких связей может служить повышенная частота ошибок ЛПР при выборе предпочтений, приводящая к нетранзитивности результатов.

Для проверки условия независимости по предпочтению предлагается дополнительная процедура.

Сформулируем условие независимости при сравнении двух  $КС_a$  по их ценности для ЛПР. Критериальные соответствия независимы, если результат сравнения ценностей векторов с двумя ненулевыми значениями компонентов ( $f(КС_{a1})$  и  $f(КС_{a2})$ ) не зависит от одинаковых значений других компонентов, т. е. если не найдется какого-либо третьего  $КС_a$  с  $f(КС_{a3}) > 0$ , при котором результат сравнения может быть иным.

Заметим, что данное условие, в отличие от общепринятого условия независимости по предпочтению, сформулировано относительно троек  $КС_a$ . Обоснованием этого подхода служат исследования, показывающие, что зависимость критериев обычно проявляется как зависимость результатов сравнения оценок двух критериев от оценок по третьему критерию. Именно такая форма зависимости отмечалась в [10, 11]. Появление более сложной «групповой» зависимости неопределенно по своей природе и трудно обнаружимо. Этот факт позволяет утверждать, что если нет троек зависимых  $КС_a$ , условие независимости при сравнении альтернатив не нарушается при любом количестве одинаковых компонентов вектора соответствия. Иначе говоря, при независимости  $КС_a$  результат сравнения ценностей векторов соответствия не зависит от значений одинаковых ненулевых компонентов этих векторов.

Чтобы проверить выполнение условия независимости, необходимо получить дополнительную информацию от ЛПР. Когда выполняется дополнительная процедура, вопросы, задаваемые ЛПР (см. основную процедуру), повторяются при следующем дополнительном условии: «по третьему критерию требования объекта (субъекта) не удовлетворены: вместо оценки  $K_{nr}$  имеет-ся худшая оценка  $K_{nt}$ ».

Дополнительные вопросы выбираются так, чтобы перебрать все возможные тройки критериев. Следовательно, количество дополнительных вопросов равно числу сочетаний из  $N$  по три ( $C_N^3$ ).

Использование условия независимости в процедурах упорядочивания позволяет сократить количество вопросов к ЛПР.

В случае выявления зависимости наиболее конструктивным выходом является переформулирование системы критериев [10]. Если такая работа требует больших усилий, паллиативом может служить эмпирическое правило, согласно которому при появлении троек зависимых оценок для сравниваемых альтернатив принимается соотношение, которое выявилось в дополнительной процедуре при проверке условия независимости.

Для иллюстрации процедур выявления предпочтений ЛПР обратимся к приведенному выше простому примеру. Основная процедура состоит в сравнении ценностей трех критериальных соответствий  $КС_{a_1}$ , которые формируют следующие векторы соответствия:

- по критерию «Профессиональная подготовленность» – вектор 100  $\{C_1 - O_1\}$ ;
- по критерию «Умение руководить коллективом» – вектор 010  $\{C_2 - O_2\}$ ;
- по критерию «Практический опыт» – вектор 001  $\{C_3 - O_3\}$ .

Типовой вопрос, на который отвечает ЛПР, выглядит так.

Что вы предпочитаете:

*Альтернатива 1.* Неудовлетворение требований объекта лишь по критерию «Профессиональная подготовленность» – вместо высокой предлагается удовлетворительная оценка профессиональной подготовленности субъекта?

*Альтернатива 2.* Неудовлетворение требований объекта лишь по критерию «Умение руководить коллективом» – вместо хорошего предлагается удовлетворительное умение субъекта руководить коллективом?

Выберите один из ответов:

Альтернатива 1 более предпочтительна.

Альтернатива 2 более предпочтительна.

Альтернативы равноценны.

В основной процедуре анализируются ответы на три подобных вопроса. В дополнительной процедуре, применяемой при абсолютных критериальных соответствиях, для рассматриваемого примера достаточно единственного вопроса, который отличается от приведенного выше дополнительным условием: «Для обеих альтернатив по критерию “Практический опыт” у субъектов имеется низшая оценка – “Практический опыт отсутствует”».

Если результаты сравнения, сделанного ЛПР, не зависят от наличия или отсутствия  $КС_a$  по третьему критерию, то делается вывод о выполнении условий независимости.

Заметим, что в рассматриваемом примере вторые компоненты критериальных соответствий  $КС_{крq} = \{ T_{kp}, T_{kp} - V_{kq} \}$  для первых двух критериев могут принимать ненулевые значения лишь в единственном случае, когда требования выражаются оценкой  $p=1$ , а возможности — оценкой  $q=2$ . Для третьего критерия, шкала которого содержит три оценки, таких возможностей уже три, из которых лишь одна реализуется в рассматриваемом примере ( $p=2, q=3$ ).

В зависимости от типа задачи либо может быть построена упорядоченная шкала всех оценок по данному критерию, либо могут быть упорядочены  $КС_a$ , встречающиеся только в данной конкретной задаче. В общем случае для шкалы критерия с  $N$  оценками существует  $N(N-1)/2$  возможностей, которые необходимо проанализировать.

Обратимся к рассматриваемому примеру. Пусть ЛПР, анализируя назначения  $\{C_1 - O_1\}, \{C_2 - O_2\}, \{C_3 - O_3\}$  с векторами соответствия 100, 010 и 001, упорядочил ценности  $КС_a$  следующим образом:

$$f(КС_{a_1}^{1,1}) \Rightarrow f(КС_{a_2}^{1,1}) \text{ и } f(КС_{a_2}^{1,1}) \Rightarrow f(КС_{a_3}^{2,1}),$$

что для первой пары интерпретируется в виде: вектор соответствия, у которого первый компонент равен 1 при оценке по шкале требований, равной 1, а остальные компоненты равны нулю, предпочтительнее вектора, второй компонент которого при тех же требованиях равен 1, а остальные компоненты равны нулю; для второй пары — в виде: вектор соответствия, у которого второй компонент равен 1 при оценке по шкале требований, равной 1, а остальные компоненты равны нулю, предпочтительнее вектора, третий компонент, которого равен 1 при оценке по шкале требований, равной 2, а остальные компоненты равны нулю.

При выполнении условия независимости, учитывая транзитивность (из которой следует  $(f(КС_{a_1}^{1,1}) \Rightarrow f(КС_{a_3}^{2,1}))$ ), эти результаты можно использовать для упорядочения ряда назначений без обращения к ЛПР. Для рассматриваемого примера следствием полученного с помощью ЛПР упорядочения  $КС_a$  являются отношения:

$$\begin{aligned} F(f(КС_{a_1}^{1,1}), 0, 0) &\Rightarrow F(0, f(КС_{a_2}^{1,1}), 0) \Rightarrow F(f(КС_{a_1}^{1,1}), f(КС_{a_2}^{1,1}), 0); \\ F(0, f(КС_{a_2}^{1,1}), 0) &\Rightarrow F(0, 0, f(КС_{a_3}^{2,1})) \Rightarrow F(0, f(КС_{a_2}^{1,1}), f(КС_{a_3}^{2,1})); \\ F(0, f(КС_{a_1}^{1,1}), f(КС_{a_3}^{2,1})) &\Rightarrow F(f(КС_{a_1}^{1,1}), f(КС_{a_2}^{1,1}), f(КС_{a_3}^{2,1})). \end{aligned}$$

На основании такого рода отношений большинство назначений могут быть упорядочены по качеству. Так, для приведенного выше примера можно построить граф, показанный на рис. 32.

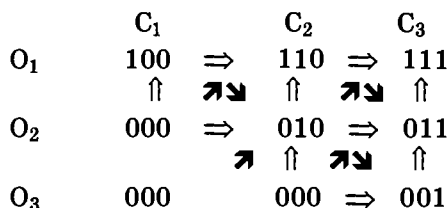


Рис. 32. Граф упорядочения назначений по качеству (пример)

В рассматриваемом примере формально остается невыясненным лишь отношение между назначениями  $\{C_2 - O_1\}$  и  $\{C_3 - O_2\}$ , определение которого требует обращения к ЛПР. Однако и это отношение может быть получено, если будет проведена дополнительная процедура и выяснено, что условие независимости выполняется. Тогда, поскольку  $F(f(KC_{a_1}^{1,1}), 0, 0) \Rightarrow \Rightarrow F(0, 0, f(KC_{a_3}^{2,1}))$  и это отношение не может измениться от наличия одинакового  $KC_a$  по второму критерию у сравниваемых векторов, имеем

$$F(f(KC_{a_1}^{1,1}), f(KC_{a_2}^{1,1}), 0) \Rightarrow F(0, f(KC_{a_2}^{1,1}), f(KC_{a_3}^{2,1})),$$

т. е.  $F\{C_2, O_1\} \Rightarrow F\{C_3, O_2\}$ .

Аналогичные графы могут быть построены и в общем случае. Назовем их графами частичного упорядочения векторов соответствия по их ценности для ЛПР. Графы частичного упорядочения векторов соответствия позволяют перейти к ранжированию этих векторов по ценности.

Выделим в графе все недоминируемые векторы и назовем их первым ядром. Среди векторов, оставшихся после удаления первого ядра, выделим второе ядро, состоящее из недоминируемых векторов в редуцированном пространстве. Этот процесс повторяется до исчерпания графа [17]. Вектору, входящему в  $i$ -е ядро, присваивается  $i$ -й ранг, если над ним доминирует вектор из  $(i-1)$ -го ядра, а он сам доминирует над вектором из  $(i+1)$ -го ядра. Если вектор входит в  $i$ -е ядро и доминирует над вектором из  $(i+p)$ -го ядра, то его ранг размыт и находится в пределах от  $(i+1)$  до  $(i+p-1)$ .

Для предложенного способа ранжирования назначения более высокого, с точки зрения ЛПР, качества (с меньшим номером) не могут иметь более низкий ранг (большой номер), чем худшие по качеству назначения. Это обстоятельство существенно используется в процедурах поиска решения МЗН.

Процедура ранжирования для рассматриваемого примера приводит к следующему результату:

<i>Ядро</i>	<i>Список назначений</i>	<i>Ранг</i>
1	$\{C_1-O_2\} \{C_1-O_3\} \{C_2-O_3\}$	1
2	$\{C_1-O_1\}$	2
3	$\{C_2-O_2\}$	3
4	$\{C_2-O_1\} \{C_3-O_3\}$	4
5	$\{C_3-O_2\}$	5
6	$\{C_3-O_1\}$	6

Обозначив высший ранг нулем, получим для рассматриваемого примера, согласно предпочтениям ЛПР, табл. 23, отражающую упорядочение назначений по качеству (высшее качество — идеальное назначение — имеет высший ранг, которому присвоено значение 0, при снижении качества уменьшается и ранг назначения и соответственно увеличивается его номер, т. е. число, отображающее качество).

Таблица 23

*Ранги назначений*

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$O_1$	1	3	5
$O_2$	0	2	4
$O_3$	0	0	3

В результате выполнения основной и вспомогательной процедур выявления предпочтений назначения ранжируются по их ценности для ЛПР.

Выше была проиллюстрирована основная процедура выявления предпочтений ЛПР для абсолютных критериальных отклонений. Покажем, каким могло бы быть решение рассматриваемого примера при анализе относительных критериальных отклонений. Первый этап такого анализа прост и не требует участия ЛПР. Действительно, из анализа таблицы сходства (см. табл. 20) и учета свойств функции ценности следует упорядо-

чение всех объектов по отношению к каждому из субъектов и наоборот. Суммируя полученные при таком ранжировании ранги (высший ранг равен 0), получаем табл. 24.

Таблица 24  
Ранги назначений  
при относительных соответствиях

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$O_1$	1	3	4
$O_2$	0	2	3
$O_3$	0	0	1

В соответствии с критерием оптимальности ЛПР утверждает очевидное решение:  $\{[C_1 - O_2] \{C_2 - O_3\} \{C_3 - O_1\}\}$ .

Как правило, количество вопросов к ЛПР при анализе относительных критериальных соответствий меньше, чем при анализе с использованием абсолютного индекса соответствия.

## 9. Поиск окончательного решения МЗН

На предыдущем этапе получено упорядоченное по качеству множество назначений, представленное в виде таблицы, элементами которой являются оценки качества назначений. Эта таблица служит исходной информацией для поиска окончательного решения МЗН (см., например, табл. 23 и 24).

Напомним введенное ранее понятие ценности решения МЗН для ЛПР как функции совокупности назначений, формирующих решение МЗН:  $\Phi(\{C_i - O_j\})$ .

Далее предлагается несколько различных процедур поиска окончательного решения МЗН, выбор которых зависит от типа рассматриваемой задачи, что позволяет эффективно использовать возможности СППР, которая лишь рекомендует возможные подходы для тех или иных типов задач. Однако выбор процедуры поиска решения остается за ЛПР — он может учитывать рекомендации системы, но волен поступать исходя из своих реальных возможностей и потребностей. Любой из выбранных путей приведет к цели, но некоторые будут более быстрыми и потребуют меньших затрат. Эти соображения и позволяют рекомендовать следующие стратегии выбора процедур поиска решений МЗН.



## 9 1 Поиск решения МЗН типа А

При малом числе критериев, объектов и субъектов процедура решения МЗН может выглядеть следующим образом:

- 1) выполняется этап анализа данных;
- 2) используются основная и, если необходимо, вспомогательная процедуры выявления предпочтений ЛПР.

Второй этап является завершающим для данного типа задач.

## 9 2 Поиск решения МЗН типа В

При большом числе критериев и сравнительно небольшом числе объектов и субъектов рекомендуется следующий порядок поиска решения МЗН:

- 1) этап анализа данных;
- 2) формирование области допустимых решений (ОДР);
- 3) формирование структуры предпочтений ЛПР – основная и вспомогательные процедуры (рекомендуется упорядочивать  $КС_a$  по ценности лишь для реально существующего пространства  $КС$ , что позволяет существенно уменьшить нагрузку на ЛПР; эта рекомендация особенно касается уникальных задач);
- 4) ранжирование векторов соответствия по ценности;
- 5) формирование ранговой матрицы «объекты–субъекты», элементами которой являются числа, отражающие ранги векторов соответствия;
- 6) решение однокритериальной задачи о назначениях на ранговой матрице с оптимизацией по критерию максимального числа наилучших назначений (минимизируется сумма чисел, отражающих ранги назначений, вошедших в окончательное решение, затем реализуется рассмотренный алгоритм поиска эффективного решения в ОДР).

Заметим, что в общем случае полученное при таком подходе решение МЗН не является единственным. Однако указанный критерий оптимальности позволяет формировать эффективное решение с максимально возможным для заданной ОДР качеством, определяемым заданным критерием.

## 9 3. Поиск решения МЗН типа С

При большом числе объектов и субъектов, но малом числе критериев рекомендуются два подхода к поиску решения МЗН.

Первый подход аналогичен стратегии поиска решения, применяемой для задач типа В. Отличие заключается в том, что на этапе формирования структуры предпочтений ЛПР рекомендуется проводить упорядочение  $КС_a$  по ценности для всего критериального пространства, что в данном случае позволит существенно уменьшить нагрузку на ЛПР. Эта рекомендация в первую очередь касается повторяющихся задач, поскольку один раз сформированная единая шкала ценностей  $КС_a$  может затем использоваться многократно.

Второй подход рекомендуется для уникальных задач типа С. Этот подход основан на идеях, предложенных в [5,9], и определяет следующий порядок поиска решения МЗН:

1. Этап формального анализа.

2. Формирование структуры предпочтений ЛПР.

На втором этапе таблица соответствия анализируется ЛПР дважды – сначала по строкам, затем по столбцам. Построчный анализ позволяет ранжировать предпочтения ЛПР, отражающие степень удовлетворенности субъекта характеристиками объектов, т.е. получить собственную ранжировку для каждой строки таблицы соответствия. Результаты проведенного анализа отражаются в первой из двух ранговых матриц. Аналогично при анализе таблицы соответствия по столбцам формируется вторая ранговая матрица.

В  $j$ -м элементе  $i$ -й строки первой ранговой матрицы находится ранг вектора соответствия  $\{C_i - O_j\}$ , в  $j$ -м элементе  $i$ -й строки второй таблицы – ранг вектора соответствия  $\{O_j - C_i\}$ . В результате строки первой таблицы отражают точку зрения ЛПР на предпочтения каждого субъекта относительно каждого из объектов, а строки второй – на предпочтения каждого объекта относительно каждого из субъектов.

Ранги в таблицах замещаются соответствующими числами – высший ранг замещается нулем.

Процедуры этого этапа требуют от ЛПР существенно меньше информации, чем при формировании порядка на всем пространстве ОДР (см. пример, приведенный выше). При этом применяется основная процедура выявления предпочтений ЛПР.

3. Автоматическое формирование единой ранговой матрицы «объекты – субъекты», элементами которой являются числа, отражающие ранги векторов соответствия. В каждой клетке

единой матрицы находится сумма чисел, расположенных в соответствующих элементах двух ранговых матриц.

4. Поиск решения однокритериальной задачи о назначениях на единой ранговой матрице с оптимизацией по критерию максимального числа наилучших назначений.

5. Предъявление назначений одинакового ранга ЛПР для дополнительного анализа. СППР предупреждает о последствиях принимаемых решений.

6. Уменьшение размерности задачи и редуцирование таблиц за счет удаления сделанных назначений, изменение рангов в каждой из исходных таблиц, т. е. присвоение в каждой отдельной строке нулевого значения высшим из оставшихся в строке рангов.

7. Повторение этапов 4–6 до получения полного решения МЗН.

На этом процедуры поиска решений МЗН заканчиваются. Заметим, что вмешательство ЛПР требовалось лишь на втором и пятом этапах; последующие этапы могут выполняться без его участия. Вариантом предложенного подхода является процедура, при которой поиск предпочтений ЛПР совмещается с выявлением наилучших назначений.

В [5] доказана теорема о существовании наилучшего (нулевого) элемента ранговой матрицы на каждом цикле процесса, т. е. сходимости рассмотренного процесса при условии, что упорядочения векторов соответствия транзитивны.

Процесс обеспечивает эффективное решение, соответствующее максимальной ценности решения для ЛПР (критерию оптимальности).

#### 9.4. Поиск решения МЗН типа D

При многих критериях и большом числе элементов двух множеств задача становится малообозримой для ЛПР. Можно рекомендовать следующую процедуру ее решения:

1. Этап анализа данных.

2. Формирование ОДР.

Второй этап играет решающую роль для задач очень большой размерности. Рекомендуется, чтобы ЛПР уделил ему максимум внимания и постарался сузить ОДР для облегчения своей последующей работы.

Желательно, чтобы в процессе формирования ОДР был найден удовлетворительный для ЛПР тип решения МЗН. Затем за счет введения дополнительных ограничений желательно сформировать ОДР, которая приводила бы к почти однозначному решению МЗН. Средства быстрого поиска решений СППР при формальном индексе соответствия позволяют найти решение при минимуме усилий. Необходимо помнить, однако, что эти средства работают при предположении равноценности критериев и шкал.

При значительной доле идеальных назначений в задачах большой размерности удобным приемом может служить процедура редуцирования матрицы исходных данных. Эта процедура основана на удалении из таблицы взаимной неудовлетворенности строк и столбцов, включающих идеальные назначения, вошедшие в решение.

3. Дальнейший поиск зависит от размерности редуцированной таблицы и может идти путями, предложенными для задач других типов. Предлагаемая процедура не гарантирует достижение оптимального по ценности для ЛПР решения. Однако поскольку решение находится в ОДР, сформированной ЛПР на основе своих предпочтений, а процедуры поиска приводят к эффективному решению, в котором присутствует максимально возможное для выбранной ОДР число идеальных назначений, то окончательное решение МЗН находится в пространстве приемлемых для ЛПР решений.

## **10. Практическое применение**

При практическом приложении данного метода в редакционном отделе издательства [2] решалась задача о назначениях типа С для 30 субъектов.

Рукописи имели оценки по следующим критериям: 1) сложность, 2) тематика, 3) важность. Сотрудники характеризовались оценками по критериям: 1) квалификация, 2) специализация по тематике, 3) качество выполняемых работ, 4) соблюдение технологической дисциплины. Критерии имели шкалы с двумя—тремя оценками.

Как видим, два первых критерия оценки рукописей и сотрудников имеют «зеркальный характер». Лучшие оценки по критериям качества выполняемых работ и соблюдения техноло-

гической дисциплины определяют возможность сотрудников работать над особо важными рукописями.

Решение задачи потребовало всего 50–70 обращений к ЛПР при проведении операций сравнения.

Следует отметить, что введение многокритериальности в классическую задачу о назначениях в значительной степени приближает модель к реальным жизненным ситуациям. Взаимодействие ЛПР и компьютера позволяет решать МЗН в реальном масштабе времени.

### Выводы

1. В отличие от типичных задач принятия индивидуальных решений, в многокритериальной задаче о назначениях ЛПР не занимает позицию диктатора, а выступает как посредник в тех случаях, когда без его вмешательства решение задачи заходит в тупик. В предлагаемых алгоритмах используются предпочтения ЛПР. Однако ЛПР вмешивается в ход решения насколько можно осторожно, разрешая локальные конфликты между возможными назначениями.
2. Решение МЗН в реальной ситуации невыполнимо без помощи СППР. СППР МЗН имеет все характерные черты компьютерной системы, выступающей в роли помощника ЛПР. В ее структуру включены базы данных (описание проблемы, сведения об объектах и субъектах, критерии и их шкалы, оценки элементов двух множеств) и базы моделей (модели близости, алгоритмы поиска максимальных паросочетаний, модели выявления предпочтений ЛПР).

- В системе учитывается влияние объективных и субъективных факторов на процедуры поиска решения. Разработанный интерфейс позволяет руководителю с минимальной предварительной подготовкой работать с системой. Важно, что система позволяет ЛПР поэтапно анализировать проблему и вырабатывать свои предпочтения в процессе интерактивной работы с системой. Ответы системы на вопросы типа: что произойдет, если предъявить определенные требования к решению задачи – позволяют ЛПР изучить область допустимых решений при различных вариантах определения ограничений.
3. Процедуры ускоренного поиска решений дают возможность выбрать тип решения. Поэтапные сравнения характеристик элементов (объектов и субъектов) позволяют шаг за шагом делать наиболее адекватные, с точки зрения ЛПР, назначения.

На наш взгляд, именно такие системы – советчики и помощники – помогают руководителю более качественно формировать, обосновывать и объяснять другим свою политику, повышая шансы принятия разумных и дальновидных решений.

## Список литературы

1. Blanco T., Hillery C. A Sea Story: Implementing the Navy's Personnel Assignment System // Oper. Res. 1994. V. 42. №. 5
2. Черняк Л., Сердечкини Н., Кожухаров А., Патрикеева Т. Модель процесса подготовки рукописей в издательстве // Алгоритмы и модели управления в технических и организационных системах. М., 1976.
3. Larichev O., Sternin M. Knowledge-based approach for solving the multicriteria assignment problem. Linster M. (Ed.). Sisyphus 92. Models of problem solving. Arbeitspapiere der GMD 630. March 1992.
4. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1973.
5. Кожухаров А. Н., Ларичев О. И. Многокритериальная задача о назначениях // Автоматика и телемеханика. 1977. № 7.
6. Стернин М.Ю. Система поддержки решения задачи о назначениях // Системы и методы поддержки принятия решений. М., 1986.
7. Стернин М.Ю. Интерактивный поиск решений многокритериальной задачи о назначениях // Системы и методы поддержки принятия решений: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1988.
8. Пападимитриу Х., Стайниц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. М.: Мир, 1985.
9. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения М.: Наука, 1987.
10. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
11. Winterfeldt D. von, Fischer G. W. Multiattribute utility theory: Models and assessment procedures. Utility, probability and human decision making/Eds. D.Wendt, C.Vlek. Dordrecht: Reidel, 1975.

## Контрольное задание

Дайте определения следующих ключевых понятий:

*Назначение*

*Критерий оптимальности*

*Эффективное решение*

*Область допустимых решений (ОДР)*

*Критериальное соответствие (КС)*

*Идеальное решение*

*«Зеркальные» шкалы оценок*

*Типы задач о назначениях*

*Формальная оценка качества решения*

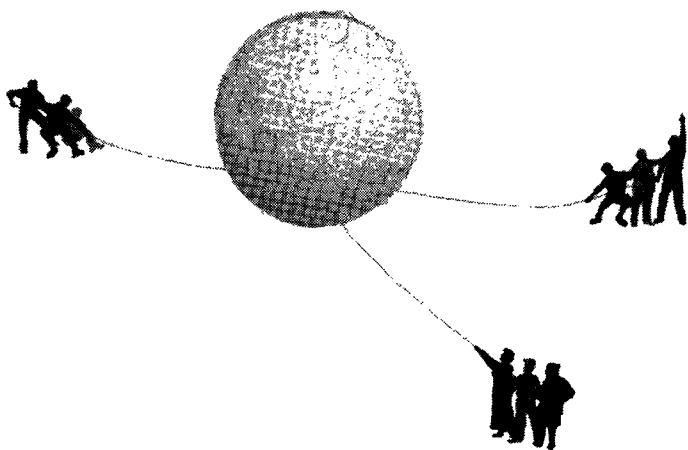
*Абсолютное соответствие*

*Относительное соответствие*

*Выявление предпочтений ЛПР*

*Выделение ядер и назначение рангов*

# Вербальный анализ решений



*Я верю, что люди свободны осуществлять выбор в пределах своих ограниченных возможностей. Я также верю, что история показывает нам, как человек может научиться делать не только свободный, но и эффективный выбор, обучаясь достигать гармонии со сверхчеловеческой реальностью, которая дает знать о своем присутствии, хотя она и скрыта от глаз.*

*Arnold Toynbee. A. Study of History*



## ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ

### Стратегия правления в Свапландии

(Статья в правительственной газете «Олон-пост», выходящей в столице Монтландии – Олоне)

За месяц, прошедший после революции в Свапландии, решительные действия нового Короля стали предметом всеобщего внимания. Ведь Королем соседнего государства неожиданно стал выпускник известного Университета Власти, бывший гражданин Монтландии. Полученные им знания и умения проходят сейчас самое серьезное испытание: сможет ли он привести отсталую страну, разоренную прежним коррумпированным режимом, в общество цивилизованных государств?

Первые шаги молодого Короля были вполне понятны – он укрепил свою власть. Мы ждали ответа на вопрос: на какие стратегические решения способен выпускник самого передового в мире Университета для политиков?

И вот получена интересная информация – запись королевской речи на секретном заседании Государственного Совета. Публикуем ее с небольшими сокращениями:

«С первых дней существования нашего Правительства мы искали пути спасения нашей страны, которая сейчас принадлежит к числу самых отсталых стран мира. Народ голодает, у государства огромные долги, а наши товары никто не хочет покупать.

Я привез великолепный компьютер, в памяти которого сохранено знание всех реформ в истории человечества, а также все экономические модели и теории развития государств. Эти знания убедительно показывают: универсальных способов вывода страны из кризиса нет. Мы сами должны найти пути преобразования нашей страны.

В компьютер ввели все данные о Свапландии, которыми мы располагаем: экономические показатели, результаты опросов тысяч наших сограждан из различных социальных групп и из всех провинций, а также наши цели и ожидания.

Диалоги с компьютером, разработка сценариев помогли нам определить первоочередную цель и найти пути ее достижения.

Итак, первая реально достижимая цель – накормить страну, создать систему производства дешевых и качественных продуктов.

Сравнение с развитыми странами показывает, что наше аграрное хозяйство безнадежно устарело. Но это не означает, что старая система должна быть разрушена сразу. Люди не принимают резких перемен. К тому же нельзя не учитывать

опыт нашей истории, состояние нашей деревни и особенности «свапландского характера». Поясню.

Во-первых, отняв насильственно земли баронов, мы нажили бы в их лице непримиримых врагов, а положительные последствия преобразований станут очевидны не сразу.

Во-вторых, наш крестьянин еще недостаточно образован, не приучен к свободному труду и к разумному ведению хозяйства.

В-третьих, у нас нет ни пунктов переработки продукции, ни центров конструктивной генетики, ни сети сбыта, ни хороших дорог в сельской местности.

Разработанный нами сценарий заключается в следующем.

При использовании современных технологий производства продовольствия достаточно малой части нашей территории, чтобы накормить население. Мы создадим на заброшенных землях эффективные фермерские хозяйства.

Но чтобы создать современную систему производства продовольствия в Свапландии, нам понадобятся капиталовложения.

В казне нет денег, и сегодня нельзя рассчитывать на внешние займы.

Чтобы найти средства, мы должны будем продать часть нашей земли – территории наших южных, почти безлюдных островов соседним странам с высокой плотностью населения. Соображения так называемого «национального престижа» не должны сбивать нас с толку, ибо мы не в состоянии освоить эти земли в будущем 2 или даже 3 столетия. Держаться за них – все равно, что жить в развалившемся доме и ни за что не продавать соседу ненужный для хозяйства полусгнивший сарай.

В виде компенсации мы сможем получить то, что для нас сейчас дороже денег и к тому же не будет разворовано – оборудование и новые сельскохозяйственные технологии. В обмен на переданные во владение острова соседи помогут организовать фермерские хозяйства в нашей провинции. На свои средства они построят дороги, заводы по переработке сырья и по изготовлению кормов, обучат будущих фермеров, которыми смогут стать лучшие из наших солдат и офицеров, прошедшие специальный отбор. Ученые заинтересованных стран помогут в организации центров конструктивной генетики, где будут работать выпускники нашего университета.

На всех остальных наших территориях будет сохранена прежняя система. Мы поможем баронам наладить более производительное хозяйство, будем платить крестьянам за высокие урожаи.

Результаты осуществления этого проекта – изобилие собственных высококачественных продуктов – должны проявиться уже через 2 года. Охрана новых фермерских территорий будет поручена одному из полков нашей армии.»

Король закончил свою речь демонстрацией результатов расчета развития.

По мнению нашего корреспондента, изложенный план вполне может стать первым этапом преобразований в отсталой Свапландии.

### **Прыжок в никуда**

(Статья в оппозиционной газете «Вечерний наблюдатель», выходящей в столице Монтландии – Олоне)

Средства массовой информации столицы живо отозвались на события последнего месяца в Свапландии. Эмоциональные речи нового Короля вызвали воодушевление наших легкомысленных политиков. Не разделяя всеобщего энтузиазма, попробуем спокойно оценить сложившуюся ситуацию.

Прежде всего, напрашиваются закономерные вопросы.

Сможет ли новоиспеченный король, вернувшийся после долгой эмиграции, понять способ мышления людей, проживших всю жизнь в Свапландии?

Сколько времени потребуется, чтобы на пустом месте создать эффективное фермерское хозяйство?

Можно ли предсказать поведение будущих фермеров после того, как они разбогатеют: не забросят ли они свои хозяйства и не предадутся ли праздности и пьянству?

Можно ли всерьез говорить об организации лабораторий конструктивной генетики после того, как более 100 лет тому назад Правительство Свапландии перестало финансировать и науку, и образование, что привело к их полной деградации? Трудно предположить, что выпускники единственного в стране столичного Университета смогут стать хотя бы лаборантами в лабораториях конструктивной генетики.

Король мало знает характер своего народа, его почти детскую доверчивость и подозрительность, его возбудимость и внушаемость. Он также плохо представляет себе агрессивность и неукротимое корыстолюбие баронов, их неспособность пренебречь личными интересами ради интересов государства. А ведь этот клан все еще обладает большим влиянием в свапландском обществе.

Королю следует понять, что простые люди в Свапландии руководствуются в своих оценках и поступках эмоциями, а не расчетом. Они легко откликнутся на призыв партии «Великих патриотов»: «Потомки не простят нам продажу исконных земель!»

Мы не верим, что через два года в этой голодной стране наступит благоденствие. Весь наш исторический опыт, знание социальной психологии, а также ясные представления о национальном характере свапландцев заставляют усомниться в успехе новой стратегии Короля.

## **Лекция 9**

### **ВЕРБАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ**

#### **1. Особый класс задач принятия решений: неструктуризованные проблемы с качественными переменными**

Обеспечение продовольствием населения волшебной страны Свапландии представляет собой пример типичной неструктуризованной проблемы. К неструктуризованным относятся проблемы принятия стратегических решений экономического и политического характера, проблемы планирования научных исследований и разработок. Конкурсного отбора проектов, личные проблемы выбора. В таких проблемах основные характеристики носят качественный характер, поэтому их невозможно использовать. Кроме того, отсутствуют достаточно надежные количественные модели.

Можно выделить общие черты неструктуризованных проблем.

1. Они являются проблемами уникального выбора в том смысле, что каждый раз проблема является либо новой для ЛПР, либо обладающей новыми особенностями по сравнению со встречавшейся ранее подобной проблемой.

2. Они связаны с неопределенностью в оценках альтернативных вариантов решения проблемы, которая объективно обусловлена нехваткой информации на момент решения проблемы.

3. Оценки альтернативных вариантов решения проблемы имеют качественный характер и чаще всего сформулированы в словесном виде.

4. Общая оценка альтернатив может быть получена лишь на основе субъективных предпочтений ЛПР (либо группы ЛПР). Интуиция ЛПР, его вера в те или иные варианты развития событий являются основой решающего правила, позволяющего перейти от оценок по отдельным критериям к общей оценке альтернатив.

5. Оценки альтернатив по отдельным критериям могут быть получены только от экспертов. Обычно отсутствует объективная шкала измерения оценок по отдельным критериям. Более того, в ряде случаев эксперты могут достаточно надежно дать лишь относительные оценки альтернатив по критериям, т.е. определить, чем один вариант лучше другого.

## 2. Качественная модель лица, принимающего решения

Как отмечалось в предыдущих главах, ЛПР является центральным элементом в процессах принятия решений. В отличие от задач исследования операций, методы принятия решений направлены на моделирование субъективного взгляда ЛПР на решаемую проблему. Именно поэтому в принятии решений, как в научном направлении, столь существенное значение имеет учет возможностей и ограничений человеческой системы переработки информации.

Особо важную роль играют психологические факторы в неструктуризованных проблемах, где имеются лишь качественные, недостаточно определенные зависимости между основными переменными. Как человек анализирует эти проблемы? Как ЛПР учитывает недостаток информации? Ответы на эти вопросы частично содержатся в качественной модели ЛПР.

### 2.1. Черты человеческой системы переработки информации

1. Человек имеет ограниченный объем кратковременной памяти; он не может уделять одновременно внимание многим аспектам, влияющим на принимаемое решение (см. лекцию 5).

Особенно ярко это ограничение проявляется при принятии новых решений (в отличие от повторяющихся), когда человек не может путем постоянных тренировок расширить возможности своей памяти, выработать определенную внутреннюю структуру хранения информации. Следствием этого ограничения являются известные случаи, когда ЛПР сознательно упрощает ситуацию, превращает часть критериев в ограничения, уменьшает число возможных оценок, группирует альтернативы и т.д.

Для неопытных людей усложнение задачи обычно связано с резким увеличением числа противоречий (см. лекцию 5).

2. Человек не является точным измерительным устройством; он не может совершать точные количественные измерения. Этим объясняются многие противоречия, наблюдаемые в задачах выбора, например исключение доминирующих альтернатив при сохранении доминируемых [1].

3. В процессе анализа проблем, подлежащих решению, человек время от времени совершает ошибки, противоречит сам себе. Эти ошибки могут быть объяснены различными причина-

ми: невнимательностью, ограниченным объемом кратковременной памяти, экономией усилий, но сам факт наличия таких ошибок бесспорен.

## **2.2. Особенности поведения человека при принятии решений**

1. Человек обычно не имеет готовой, точно сформулированной политики, решающего правила. Он вырабатывает это решающее правило привычным человеческим методом «проб и ошибок», т.е. человеку необходим процесс обучения.

2. Из-за ограниченного объема кратковременной памяти человек в каждый момент времени уделяет внимание ограниченному подмножеству объектов. Этим объясняется известная стратегия «поиска доминирующей структуры» (см. лекцию 5). При рассмотрении большого количества альтернатив человек первоначально применяет простые стратегии «исключения по аспектам», пытаясь уменьшить их число до обозримого, а уже потом использует более «тонкие» стратегии сравнения.

3. Человек ищет удовлетворительное, а не оптимальное решение, достаточно устойчивое к изменению внешних (им не контролируемых) факторов.

4. Человек минимизирует (подсознательно) свои усилия при поиске решения. Он меняет свои стратегии по ходу решения задач, выбирая те из них, которые требуют меньше умственных усилий (см. лекцию 5). Человек стремится использовать более простые когнитивные операции (например, сложение), простые сравнения малого числа переменных и т.д.

## **3. Какими должны быть методы анализа неструктуризованных проблем**

Знание особенностей поведения ЛПР в процессах принятия решений должно существенно влиять на методы анализа неструктуризованных проблем. Именно это утверждение является центральным для вербального анализа решений [2,3]. Согласно этому подходу, при разработке методов анализа неструктуризованных проблем основное внимание должно уделяться следующим вопросам:

- способам измерения качественных переменных;

- способам построения решающего правила;
  - проверке на непротиворечивость информации ЛПР.
- Далее мы рассмотрим эти вопросы подробнее.

#### 4. Измерения

Как известно (см. лекцию 4), в методах многокритериальной оценки альтернатив традиционно используются количественные оценки переменных. Этому же требует большинство компьютерных систем поддержки принятия решений. Но компьютеры могут работать как с числами, так и с символами, в том числе с символами, представляющими качественные переменные.

Поэтому переход от качественных переменных к количественным путем произвольного присваивания чисел либо использования подхода размытых множеств не является единственно возможным. Более того, такой переход связан с внесением существенных искажений в описание проблемы. Действительно, операции присвоения чисел качественным оценкам и построения функций принадлежности (подход размытых множеств) не имеют надежного психологического обоснования.

Компьютер может непосредственно использовать качественные переменные, оперируя с их символами. Можно построить многокритериальные методы принятия решений, использующие непосредственно результаты качественных измерений.

Рассмотрим способы качественного измерения оценок альтернатив по критериям.

##### 4.1. Качественные измерения

На наш взгляд, принятие решений в типичных неструктурированных проблемах относится к тем областям человеческой деятельности, где количественные (а тем более объективные) способы измерений не разработаны, вряд ли они появятся в будущем. Следовательно, необходимо оценить возможности осуществления надежных качественных измерений. Следуя Р. Карнапу [4], обратимся к способам измерения физических переменных, применявшимся до появления надежных количественных способов измерений. Так, до появления весов сравнение предметов по тяжести осуществлялось с использованием двух отношений:  $E$  — отношения эквивалентности и  $L$  — отношения

превосходства (люди определяли, являются ли предметы равными по весу или один тяжелее другого). При этом существуют три условия, которым должны удовлетворять Е и L:

- 1) Е и L исключают друг друга;
- 2) L транзитивно;
- 3) для двух предметов а и b либо  $aEb$ , либо  $aLb$ , либо  $bLa$ .

Легко заметить, что описанная выше схема позволяет производить относительные сопоставления предметов по одному их качеству — весу. Для такого измерения необходимо иметь все предметы в распоряжении лица, производящего измерения (эксперта).

Возьмем другой пример: измерение температуры. Прикладывая ладонь к предметам, человек также совершал относительные измерения, используя бинарные отношения Е и L. Кроме того, существовала необходимость сопоставлять измерения, сделанные разными людьми (так сказать, экспертами) и в разное время, а также одним человеком с различными множествами предметов. Это стало возможным тогда, когда люди договорились об общих точках шкалы измерений. Например, при измерении температуры они могли определить эти точки следующим образом:

- 1) так горячо, что едва можно приложить ладонь;
- 2) почти не чувствуется разница в температуре (температура тела);
- 3) так холодно, что рука сразу замерзает.

Мы видим, что эти определения не очень точны, но они уже создают основу для договоренности. Используя такие или подобные определения, мы получаем абсолютную порядковую шкалу с дискретными оценками. Измерение сводится к классификации, в которой предмет относится либо к одной из оценок, либо к интервалу между оценками.

Сделаем еще два замечания. Ясно, что построенная таким образом абсолютная порядковая шкала не может иметь много значений, так как они станут плохо различимыми для лиц, производящих измерения. Чтобы легче договориться, надо выделить всем понятные, одинаково ощущаемые точки на этой шкале и подробно объяснить, что они означают. Поэтому на та-



ких шкалах должны быть детальные словесные формулировки оценок — градации качества. Кроме того, эти определения (градации качества) выделяют те оценки на шкале измерений, которые нужны лицам, производившим измерения (например, их интересовали только очень горячие и/или очень холодные предметы). Таким образом, оценки на порядковой шкале определяются как потребностями лиц, нуждающихся в тех или иных измерениях (в нашем случае — ЛПР), так и различимостью оценок, возможностью построения вербального описания их смысла в понятном для всех (как для экспертов, так и для ЛПР) виде.

Можно не сомневаться, что в течение многих лет, предшествовавших появлению способов надежного количественного измерения физических свойств объектов, люди уже проводили измерения в качественном виде. Сейчас эти способы измерений могут показаться нам примитивными, потому что появились намного более надежные количественные способы. Но то, что качественные (до-количественные) способы измерения физических величин существовали, нет сомнения. Когда качественные измерения были заменены количественными, возникло пренебрежительное отношение к этим способам измерений, как к чему-то «ненаучному», несовременному. Успехи в физике привели к известным высказываниям о том, что наука везде и всюду появляется там, где возникает число, количество.

Эти высказывания относятся в первую очередь к естественным наукам. Однако в науках о человеческом поведении качественные измерения были и будут наиболее надежными.

Точность, надежность измерений крайне важны при принятии решений — от них зависит выбор наилучшей альтернативы. Естественно, что человек, от решений которого зависят судьбы людей, хочет задать вопрос на своем, понятном ему языке и получить ответ, исключающий какое-либо двусмысленное толкование. Это приводит нас к единственно возможному виду измерений для большинства факторов — в качественных, вербальных понятиях, расположенных на порядковых шкалах.

Кто же должен формулировать перечень факторов и шкалы оценок по факторам? Для личных, персональных решений сам человек не только определяет факторы, которые он хотел бы

принять во внимание, но и язык измерений – те уровни значений факторов, которые он хотел бы различать.

Для деловых решений разумный ЛПР учитывает не только то, что он сам хочет, но и мнения других людей. Он сам формулирует на естественном языке градации качества, расположенные на порядковой шкале. Следует отметить, что данный язык измерений может быть использован для описания весьма широкого спектра задач принятия решений. Пример шкалы измерений для одной из таких задач принятия решений приводится далее.

## 4.2. Сравнительные качественные оценки

Не во всех случаях эксперты могут измерять качественные переменные по абсолютным шкалам, где уровни качества не зависят от альтернатив. Когда неопределенность велика, эксперты могут с достаточной уверенностью осуществлять лишь качественные сравнения альтернатив по отдельным критериям. От вербальных шкал с развернутыми словесными оценками эксперты переходят к словесным сравнениям типа: «лучше – хуже»; «примерно одинаково». Так, при сравнении вариантов трассы газопровода [5] эксперты могли лишь в сравнительном виде достаточно уверенно определить оценки по таким критериям, как вероятность аварий, безопасность населения, удобство эксплуатации и т. д.

В ряде экспериментов экспертов просили оценить шансы баскетбольных команд на выигрыш в играх между собой. Экспериментаторы заметили, что в случае неизвестной команды (большая неопределенность) эксперты могли различить только два уровня вербальных вероятностей, причем в сравнительной форме (например: «хозяева площадки всегда играют лучше, чем гости»). Высказывается мнение [6], что «принуждение людей к количественным оценкам неопределенности может вести к ошибочным оценкам». Этот пример показывает, что некоторые измерения могут быть сделаны только в вербальном виде с использованием отношений сравнения.

Были проведены систематические исследования сравнительных вероятностных оценок [7]. Исследования показали, что и взрослые, и дети используют сравнительные вероятности гораздо

чаще, чем количественные оценки вероятностей событий. В экспериментах рассматривались такие задачи, как оценка вероятностей попадания в секторы при вращении диска, оценка победителей в соревнованиях, играх. Авторы этой работы сформулировали шесть математических принципов для сравнительных вероятностей. Они представляют собой математическую концепцию качественных вероятностей. Основным результатом, полученный в экспериментах со взрослыми и детьми (от 5 лет), состоит в следующем: в своих сравнениях люди действуют в полном соответствии с принципами математической теории качественных вероятностей. Авторы этой работы пришли к выводу, что сравнительные вероятности дают более надежную базу описания человеческого поведения, чем количественные вероятности.

## **5. Построение решающего правила**

Решающие правила представляют собой правила перехода от измерений к ранжированию альтернатив, их классификации, выбору наилучшей из них.

Как осуществить построение решающего правила при качественных переменных?

Любые операции с качественными переменными должны соответствовать возможностям человеческой системы переработки информации. Иначе говоря, необходимо иметь результаты психологических исследований, показывающих, что человек достаточно надежно (с небольшим числом ошибок) использует ту или иную операцию по переработке информации [2].

Анализ большого числа операций по переработке информации [2] показал, что при качественных переменных такими операциями, в частности, являются:

- сравнение двух оценок на вербальных шкалах двух критериев;
- отнесение многокритериальных альтернатив к классам решений (пределы возможностей человека см. в табл. 14);
- сравнительные словесные оценки качества альтернатив по отдельным критериям.

Приведенные выше операции были использованы в методах вербального анализа решений ЗАПРОС, ОРКЛАСС, ПАРК [3].

Используя психологически корректные операции по переработке информации, можно построить многокритериальные методы принятия решений, основанные на получении от ЛПР только качественной информации.

## **6. Проверка информации ЛПР на непротиворечивость**

Одной из неотъемлемых черт человеческого поведения являются ошибки. При передаче информации, при ее обработке люди ошибаются. Они ошибаются меньше и даже существенно меньше при использовании описанных выше корректных процедур получения информации, но они все равно ошибаются. Ошибки могут быть вызваны отвлечением внимания человека, его усталостью, другими причинами. Ошибки наблюдаются как на практике, так и в психологических экспериментах. Эти ошибки существенно отличаются от ошибок, совершаемых человеком при психометрических измерениях. Как известно, там ошибки распределены по закону Гаусса, и вероятность ошибки увеличивается с отклонением от истинного значения. Ошибки человека в тех или иных процедурах переработки информации имеют совершенно иной характер. Так, в наших исследованиях по многокритериальной классификации мы обнаружили, что в простых для человека, малоразмерных задачах могут редко (один—два случая на 50 ответов) встречаться грубые ошибки, приводящие сразу к большому количеству противоречий. Эти ошибки явные, заметные. Такого же типа ошибки мы встречаем при парных сравнениях оценок по критериям, при ранжировании критериев и т.д. Иными словами, человек может время от времени совершать существенные ошибки. Следовательно, информацию, получаемую от человека, надо подвергать проверке, а не использовать бесконтрольно.

Какие же существуют способы проверки человеческой информации?

Эффективными средствами являются так называемые замкнутые процедуры, в рамках которых полученная ранее информация проверяется не прямо, а косвенно. Процедура опроса строится так, что вопросы дублируются, но это дублирование осуществляется неявно, через другие вопросы, логически связанные с первыми. Пусть, например, от ЛПР требуется срав-

нить оценки  $a_i$ ,  $b_j$ ,  $c_k$ ,  $d_m$  с целью их упорядочения. Результат  $a_i > b_j > c_k > d_m$  может быть получен путем трех сравнений:  $a_i$  и  $b_j$ ;  $b_j$  и  $c_k$ ;  $c_k$  и  $d_m$ . Замкнутая процедура состоит в попарном сравнении всех четырех оценок между собой; это необходимо для того, чтобы проверить непротиворечивость информации ЛПР.

При многокритериальной классификации оценки ЛПР также проверяются на непротиворечивость (см. лекцию 5). Ошибкой считается случай, когда ЛПР относит доминирующую альтернативу к худшему классу решений, а доминируемую — к лучшему.

При обнаружении противоречий СППР должна обеспечить ЛПР средствами для анализа ситуации и исключения противоречий.

## 7. Обучающие процедуры

Как отмечалось выше, человек наделен способностью к обучению, которое осуществляется, как правило, путем проб и ошибок. Обучение связано с исследованием многокритериальной задачи, с постепенной выработкой политики ЛПР, его решающего правила. Трудно ожидать, что человек на первых же этапах процесса принятия решений может устойчиво, осмысленно и непротиворечиво определить решающее правило. Мы можем предположить, что у опытного ЛПР (особенно, если он сталкивался раньше с подобной задачей) есть многие элементы решающих правил: перечень критериев (может быть, неполный), сравнительная важность некоторых критериев и оценок. Но обычно все это уточняется в процессе выработки решения. Именно в этом процессе формируются все необходимые компромиссы.

Для того чтобы создать возможность проявления человеческой способности к обучению, метод принятия решений должен включать в себя процедуры специального типа, в которых политика ЛПР вырабатывается поэтапно, а не одномоментно. Такие процедуры должны позволять людям ошибаться и исправлять свои ошибки, вырабатывать частичные компромиссы и переходить к следующим. Этот процесс должен позволять человеку усомниться в своих решениях и вернуться к началу.

## **8. Получение объяснений**

С поведенческой точки зрения одним из требований к результатам применения любого метода является их объяснимость. Например, при принятии ответственного решения ЛПР хочет знать, почему альтернатива А оказалась лучше, чем В, и обе они лучше, чем С. Это требование является вполне обоснованным. Этапы измерений и получения информации от ЛПР и этап представления конечных результатов разделены этапом логических преобразований информации. Поэтому ЛПР хочет убедиться, что именно его предпочтения (без каких-либо искажений) положены в основу оценки альтернатив. Чтобы удовлетворить этому требованию, метод принятия решений должен обладать «прозрачностью» — он должен позволять находить взаимно однозначное соответствие между информацией, полученной от ЛПР, и окончательными оценками альтернатив. Только тогда появляется возможность получения объяснений.

## **9. Основные характеристики методов вербального анализа решений**

Методы вербального анализа решений [3] учитывают когнитивные и поведенческие аспекты поведения ЛПР, представленные выше в виде описательной модели.

Во-первых, качественные измерения позволяют получить описание неструктуризованной проблемы, близкое к реальному.

Во-вторых, использование способов построения решающего правила, соответствующих возможностям человеческой системы переработки информации, позволяет обосновать методы с психологической точки зрения.

В-третьих, специальные процедуры проверки информации на непротиворечивость обеспечивают надежность получаемой информации и создают для ЛПР возможности постепенной выработки решающего правила.

В-четвертых, возможность получения объяснений увеличивает шансы на успешное практическое применение.

В качестве примера одного из методов вербального анализа решений опишем далее метод ЗАПРОС [8].

## 10. Метод ЗАПРОС (ЗАмкнутые ПРОцедуры у Опорных Ситуаций)

### 10.1. Постановка задачи

Пусть заданы критерии оценки альтернатив с вербальными оценками на шкалах. Они являются основой построения решающего правила ЛПР. Предполагается, что реальные альтернативы, имеющие многокритериальные оценки, должны появиться после построения решающего правила (задача второй группы – см. лекцию 6), а также, что число таких альтернатив может быть достаточно велико и эти альтернативы могут иметь любые оценки по критериям.

Требуется построить правило упорядочения многокритериальных альтернатив на основе предпочтений ЛПР. Формально эта задача может быть представлена следующим образом.

*Дано:*

- 1)  $N$  критериев оценки альтернатив;
- 2)  $p_j$  – число вербальных оценок на порядковой шкале  $j$ -го критерия;
- 3)  $X_j = \{x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^{p_j}\}$  – оценки на шкале  $j$ -го критерия, упорядоченные от лучшей к худшей;

4) множество всех возможных векторов  $Y = \{X_1 \otimes X_2 \otimes \dots \otimes X_N\}$ , состоящих из оценок вида  $y_i = \{x_1^k, x_2^m, \dots, x_N^t\}$ , где каждый вектор  $y_i$  имеет одну из оценок по шкале каждого из критериев; запись  $Y = \{X_1 \otimes X_2 \otimes \dots \otimes X_N\}$  определяет  $N$ -мерную сетку, каждая точка которой является одним из возможных сочетаний оценок по критериям;

5) заданные альтернативы из множества  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , имеющие оценки, соответствующие векторам:  $u_1, u_2, \dots, u_n$ .

*Требуется:* на основе предпочтений ЛПР построить правило упорядочения многокритериальных альтернатив (решающее правило) и на основе этого правила упорядочить заданные альтернативы.

### 10.2. Пример: как оценить проекты?

Пусть группа частных лиц решила организовать фонд для вложения средств в научно-технические проекты прикладного характера. Известно, что подобные фонды существуют во мно-

гих странах и что именно наукоемкие проекты могут привести к большим финансовым успехам. Организатор фонда был заинтересован в эффективной системе отбора проектов. Для разработки этой системы был приглашен консультант по принятию решений.

Консультант совместно с организатором фонда (далее будем называть его ЛПР) разработал анкету для оценки проектов. В анкете нашла отражение политика ЛПР в виде перечня основных, важных для него критериев качества проектов со шкалой возможных значений по ним (оценки по каждому критерию расположены от лучших к худшим).

*Критерии оценки проектов*

А. Степень проверенности замысла:

- 1) созданы единичные изделия;
- 2) разработана технология;
- 3) предложена идея.

Б. Окупаемость проекта:

- 1) менее полугода после начала производства;
- 2) год после начала производства;
- 3) два года и более.

В. Трудности организации производства (при наличии денежных ресурсов):

- 1) малые;
- 2) средние;
- 3) большие.

Г. Наличие спроса на продукт (изделие):

- 1) большой спрос;
- 2) достаточный спрос;
- 3) неопределенный спрос.

Заранее неизвестно, какие проекты поступят в фонд. Но известно, что необходимо отобрать для инвестирования группу лучших проектов, суммарные ресурсные потребности которых не превышают возможности фонда.

Консультант предложил заранее договориться с группой экспертов об их участии в оценке проектов. Каждый из приглашенных экспертов должен был выбрать для поступившего проекта одну из оценок на шкале каждого из критериев. Еще до поступления проектов необходимо было определить способ расположения проектов по качеству от лучших к худшим. Что такое лучшее — понятие субъективное. Кто-то должен померить качества по разным критериям, сопоставить их между собой.



Так как ЛПР отвечает за фонд, то именно его предпочтения должны лежать в основе оценки качества проектов. Нужно определить эти предпочтения и построить решающее правило.

### 10.3. Выявление предпочтений ЛПР

#### *Единая порядковая шкала для двух критериев*

При любой совокупности критериев мы можем предположить, что существует идеальная альтернатива, имеющая лучшие оценки по всем критериям. Будем рассматривать идеальную альтернативу как опорную ситуацию, ориентируясь на которую, сравним между собой понижения качества вдоль шкал двух критериев. Покажем, какая информация в данном случае требуется от ЛПР.

Пусть оценки по  $(N-2)$  критериям имеют лучшие (первые) значения, а по двум критериям  $i$  и  $j$  могут изменяться. Переход от лучших оценок к худшим связан с понижением качества. Пусть первоначальная альтернатива имеет все лучшие оценки. Поставим перед ЛПР следующий вопрос.

Что вы предпочитаете:

альтернативу 1 с оценками  $x'_1$   $x'_2$ ?

альтернативу 2 с оценками  $x'_2$   $x'_1$ ?

Выберите один из ответов:

альтернатива 1 лучше альтернативы 2;

альтернативы 1 и 2 равноценны;

альтернатива 2 лучше альтернативы 1.

Следующий вопрос ставится в зависимости от ответа ЛПР. Пусть ЛПР предпочитает альтернативу  $x'_1$   $x'_2$ . Тогда следующий вопрос относится к сравнению альтернатив  $x'_2$   $x'_1$  (худшая в первой паре) и  $x'_1$   $x'_3$  (которая получается из лучшей в первой паре путем понижения второй оценки на одну градацию). Общее правило таково: худшая альтернатива в первой паре сравнивается с альтернативой, получаемой из лучшей путем понижения на одну градацию худшей оценки.

Нетрудно убедиться, что проведенные сравнения позволяют упорядочить оценки двух шкал и построить объединенную шкалу. Назовем ее единой порядковой шкалой (ЕПШ) двух критериев. Покажем на приведенном выше примере процедуру

построения ЕПШ для двух критериев у опорной ситуации (сочетание лучших или худших оценок по всем критериям).

Обратимся к списку критериев (см. п. 10.2). Представим себе идеальный проект, состоящий из лучших оценок по всем критериям. В жизни такое почти не встречается, и мы будем использовать этот образ только как точку отсчета. Отходя от этого идеала, будем понижать оценки по двум критериям: А (степень проверенности) и Б (окупаемость).

**Вопрос.** Что вы предпочитаете: проект с разработанной технологией и сроком окупаемости в полгода или проект, где уже выпущены единичные изделия, но срок окупаемости — один год?

**Ответ ЛПР.** Проект, для которого срок окупаемости год, но уже есть единичные изделия.

**Вопрос.** Что вы предпочитаете: проект со сроком окупаемости полгода и с разработанной технологией или проект, где уже имеются единичные изделия, но срок окупаемости — 2 года и более?

**Ответ ЛПР.** Проект с разработанной технологией и сроком окупаемости полгода.

**Вопрос.** Что вы предпочитаете: проект, где уже есть единичные изделия, но с большим (2 года и более) сроком окупаемости, или проект, где малый срок окупаемости, но есть лишь идея изготовления?

**Ответ ЛПР.** Оба варианта плохи, но лучше проект, где есть единичные изделия, хотя и большой срок окупаемости.

На рис. 33 представлены вопросы и ответы с использованием обозначений критериев (направленная стрелка означает предпочтение).

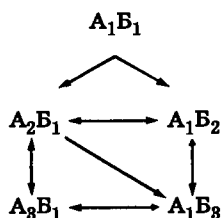


Рис. 33. Сравнения оценок на шкалах двух критериев у первой опорной ситуации

Первое и второе сравнения показывают, что оценка  $A_2B_1$  может быть помещена между оценками  $A_1B_2$  и  $A_1B_3$ . Все оценки, представленные на рис. 33, можно расположить на единой шкале, на которой качество убывает слева направо:

$$A_1B_1 \Rightarrow A_1B_2 \Rightarrow A_2B_1 \Rightarrow A_1B_3 \Rightarrow A_3B_1.$$

Эту единую шкалу можно представить в более простом виде, если учесть, что по одному из критериев — А или Б — лучшая оценка. Иными словами, вместо  $A_1B_2$  будем указывать лишь  $B_2$  как оценку, отличающуюся от лучшей. Тогда построенная порядковая шкала может быть представлена в виде:

$$A_1B_1B_1\Gamma_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow A_3.$$

Таким образом, ответы на приведенные выше вопросы позволили объединить в единую шкалу шкалы критериев А и Б. Точно так же можно объединить шкалы критериев А и В при предположении, что по критериям Б и Г будут лучшие оценки, и т. д. Иными словами, берутся все пары критериев (сочетания по два из четырех критериев) при предположении, что два из них, не входящие в пару, имеют лучшие оценки.

Приведем простые правила, определяющие, как в нашем примере задавать вопросы при объединении двух шкал:

1) сравниваются две средние оценки — одна из них становится лучшей, другая худшей;

2) худшая при сравнении оценка сопоставляется с нижней оценкой шкалы второго критерия (на рис. 33 видно, что при сравнении средних оценок  $B_2$  является лучшей, а  $A_2$  — худшей, следовательно, вторым вопросом  $A_2$  сравнивается с  $B_3$ );

3) худшая во втором сравнении оценка сопоставляется с нижней оценкой второго критерия (так,  $B_3$  сравнивается с  $A_3$  на рис. 33) и т. д.

### ***Проверка условия независимости для двух критериев***

Единая порядковая шкала содержит ценную информацию о предпочтениях ЛПР. Однако использование этой информации возможно при независимости сравнений, сделанных ЛПР, от изменения опорной ситуации.

Назовем два критерия *независимыми по изменению качества*, если ЕПШ, построенная для оценок этих критериев, остается неизменной при любых попарно одинаковых оценках по другим критериям.

Проверка условия независимости по изменению качества осуществляется следующим образом. Повторим опрос ЛПР по сравнению оценок на шкалах двух критериев при предположении, что по прочим критериям имеются худшие оценки. При та-

ком опросе предполагается, что первоначально по всем критериям имеются худшие оценки, а затем осуществляются сравнения улучшенных оценок по шкалам двух критериев. В результате получаем часть ЕПШ для этой же пары критериев, построенную уже у второй опорной ситуации. Если две ЕПШ совпадают, то можно принять, что два критерия независимы.

Дадим содержательное объяснение такого способа проверки. Каждое сочетание оценок критериев представляет для ЛПР образ

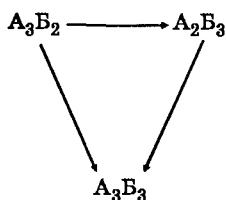


Рис 34 Сравнения, совершаемые ЛПР у второй опорной ситуации

определенной альтернативы. Наиболее яркими, «контрастными» для ЛПР являются два образа, соответствующие сочетаниям лучших и худших оценок по всем критериям (опорные ситуации). Можно принять, что условия независимости выполняются, если эти образы не влияют на сравнения, совершаемые ЛПР.

Обратимся опять к нашему примеру. Повторяем сравнения оценок по критериям А и Б при предположении, что по критериям В и Г имеются худшие оценки. Возможный результат таких сравнений представлен на рис. 34.

Нетрудно убедиться, что результаты сравнений можно представить в виде отрезка ЕПШ:

$$B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow A_3B_3V_3Г_3.$$

Критерии А и Б независимы по изменению качества, так как ЕПШ, построенные у двух опорных ситуаций, совпадают.

### ***Независимость по понижению качества для группы критериев***

Поиск условий независимости группы критериев от остальных является предметом исследования во многих работах в области принятия решений. Так, если пары критериев независимы по предпочтению, то доказан факт независимости любой группы критериев от остальных [ 9 ].

В статьях и книгах по принятию решений не встречаются примеры, когда зависимость между несколькими критериями не проявлялась бы в группе из трех критериев. Мы можем со-

слаться на мнение известных ученых Д. фон Винтерфельда и Г. Фишера [10], что групповая зависимость критериев «неопределима по природе и труднообнаружима» в случае, когда все критерии попарно независимы.

Легко увидеть, что введенное выше условие независимости по понижению качества близко к известному условию независимости по предпочтению (см. лекцию 4).

Мы можем утверждать следующее.

**Утверждение 1.** В случае, когда все пары критериев независимы по понижению качества, любая группа критериев независима по понижению качества.

Действительно, предложенная выше проверка для всех пар критериев достаточно полная. При этой проверке рассматриваются все возможные тройки критериев. Трудно предположить существование зависимости более сложного характера.

В случаях, когда обнаружена зависимость критериев, рекомендуется изменить описание проблемы для исключения этой зависимости [11]. В [3] даны примеры изменения описания проблемы с целью получения независимой системы критериев.

### ***Единая порядковая шкала для оценок всех критериев***

В методе ЗАПРОС опрос ЛПР у двух опорных ситуаций осуществляется для всех  $0,5 N(N-1)$  пар критериев. Непротиворечивые ЕПШ для пар критериев можно объединить. Алгоритм построения общей ЕПШ для оценок всех критериев на основе парных ЕПШ у первой опорной ситуации состоит в следующем. Парные ЕПШ имеют единую начальную точку — сочетание лучших оценок по всем критериям. Совокупность парных ЕПШ с единой начальной точкой может быть представлена в виде графа. Для построения общей ЕПШ может использоваться стандартная процедура, так называемая «разборка» графа. Поместим на общей ЕПШ сочетание всех лучших оценок как начальную точку и удалим ее из графа. Далее определяется недоминируемая оценка на парных ЕПШ. Она помещается на общую ЕПШ, удаляется из графа, и так продолжается до переноса всех оценок на общую ЕПШ. Так как при построении парных ЕПШ все критериальные оценки сравниваются, то на общей ЕПШ все оценки упорядочены.

Обратимся к приведенному выше примеру. Предположим, что, задавая похожие вопросы и проводя такие же сравнения, мы построили единые шкалы оценок для всех пар критериев (парные ЕПШ):

$$A_1B_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow A_3;$$

$$A_1B_1 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_2 \Rightarrow A_3 \Rightarrow B_3;$$

$$A_1\Gamma_1 \Rightarrow A_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow A_3 \Rightarrow \Gamma_3;$$

$$B_1B_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow B_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow B_3;$$

$$B_1\Gamma_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow \Gamma_3;$$

$$V_1\Gamma_1 \Rightarrow V_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow V_3 \Rightarrow \Gamma_3.$$

Используем приведенный выше алгоритм для построения ЕПШ для оценок всех критериев:

$$A_1B_1V_1\Gamma_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_2 \Rightarrow \Gamma_2 \Rightarrow B_3 \Rightarrow A_3 \Rightarrow V_3 \Rightarrow \Gamma_3.$$

### ***Проверка информации ЛПР на непротиворечивость***

В процессе сравнений ЛПР может делать ошибки. Следовательно, необходимы процедуры проверки информации на непротиворечивость. В методе ЗАПРОС для такой проверки предусмотрены так называемые *замкнутые процедуры* [8].

В методе ЗАПРОС предлагается строить ЕПШ для всех  $0,5(N-1)$  пар критериев. Нетрудно убедиться, что из ЕПШ для 1-го и 2-го критериев и ЕПШ для 2-го и 3-го критериев можно частично упорядочить оценки всех трех критериев. Сравнение 1-го и 3-го критериев позволяет не только построить ЕПШ для трех критериев, но и частично проверить информацию ЛПР на непротиворечивость, так как часть информации дублируется. Нетранзитивность результатов сравнений означает наличие противоречивых ответов ЛПР.

При построении единой ЕПШ для оценок всех критериев информация ЛПР проверяется на непротиворечивость. Если на каком-то этапе разборки графа нельзя выделить недоминируемую критериальную оценку, то это свидетельствует о противоречии в информации ЛПР. Противоречивые сравнения предъявляются ЛПР для анализа. Заметим, что с ростом  $N$  (усложнением задачи) количество дублирующей информации (позволяющей осуществить дополнительную проверку) увеличивается.

ся. Конечно, такая проверка не является исчерпывающей, но она представляется достаточно полной.

Обратимся к приведенному выше примеру. Сравнения оценок для одной пары критериев при построении парной ЕПШ могут противоречить сравнениям, сделанным при построении ЕПШ для другой пары критериев. Так, предположим, что единая шкала критериев Б и В вместо вида, представленного в (6), имеет иной вид:  $B_1 B_1 \Rightarrow B_2 \Rightarrow B_2$ . Тогда при попытке построения единой шкалы всех критериев мы сталкиваемся с противоречием. Из единой шкалы для критериев А и Б следует, что  $B_2$  предпочтительнее  $A_2$ , из единой шкалы для критериев А и В — что  $A_2$  предпочтительнее  $B_2$  — см. выше. Следовательно,

$$B_2 \Rightarrow A_2 \Rightarrow B_2 \Rightarrow B_2.$$

Возникающее противоречие не дает возможности разместить оценки  $A_2$ ,  $B_2$  и  $B_2$  на единой шкале. Обычно такое противоречие является результатом непоследовательности в суждениях. Необходимо разобраться в проведенных сравнениях и изменить противоречивые решения.

Итак, при построении единой шкалы оценок критериев осуществляется проверка предпочтений на непротиворечивость. Возможность соединения нескольких парных шкал в единую шкалу является подтверждением непротиворечивости предпочтений ЛПР.

Вопросы, необходимые для построения единой ЕПШ, составляют весь диалог с ЛПР. Больше информации от ЛПР не требуется. В нашем случае (четыре критерия) ЛПР должен ответить на 24 вопроса (если он отвечает непротиворечиво). По опыту использования системы ЗАПРОС известно, что этот диалог занимает 10–15 мин.

### *Частный случай*

При  $N=2$  понятие опорной ситуации не существует. Вместо построения ЕПШ осуществляются сравнения понижений качества от лучших оценок и сравнения всех повышений качества от худших оценок. Полученные результаты (если они непротиворечивы) непосредственно используются для сравнения альтернатив, имеющих оценки по двум критериям.

## ***Психологическая корректность процедуры выявления предпочтений ЛПР***

Процедура выявления предпочтений ЛПР в методе ЗАПРОС является корректной с психологической точки зрения. Ее проверка производилась неоднократно в различных экспериментах [8]. Каждый из испытуемых был поставлен в положение ЛПР, объекты оценивались по нескольким критериям с качественными шкалами. Проверка по группе испытуемых показала, что при пяти критериях они допускали не более одного – двух противоречивых ответа из 34 (для одной опорной ситуации). Данная замкнутая процедура выявления предпочтений и построения единой шкалы оценок критериев неоднократно проверялась в экспериментах и на практике (при работе с ЛПР).

Информация, получаемая от ЛПР, была почти всегда непротиворечива. Так, при опросе разных ЛПР по 4 критериям с 3–5 оценками на шкалах не наблюдалось ни одного нарушения транзитивности. При опросе по 6 и 7 критериям с 3–6 оценками на шкалах наблюдались 1–3 противоречивых ответа из 50–70. Повторный опрос ЛПР позволил сразу же устранить эти противоречия. Можно предположить, что при 3–4 оценках на шкалах критериев небольшое число противоречий сохранится до  $N=10$ .

### **10.4. Сравнение альтернатив**

#### ***Сравнение двух альтернатив***

**Утверждение 2.** Упорядоченность оценок на парной ЕПШ либо определяется посредством попарных сравнений, осуществляемых ЛПР, либо получается в результате транзитивного распространения, следующего из порядковых шкал критериев.

Действительно, в тех случаях, когда оценки не сравнены непосредственно ЛПР, их положение на ЕПШ определяется:

- либо упорядочением оценок на шкалах критериев, если они принадлежат одной шкале;
- либо транзитивным распространением результатов сравнения ЛПР на основе упорядоченных оценок на шкалах критериев.

Обратимся к примеру: ЕПШ для критериев А и Б. Оценки  $A_2$  и  $B_2$  сравнивались ЛПР. Превосходство оценки  $A_2$  над оценкой  $B_3$  следует из превосходства  $B_2$  над  $B_3$  (порядковая шкала).



*Утверждение 3.* Упорядоченность оценок на общей ЕПШ следует либо из прямых сравнений ЛПР, либо из свойства упорядочения оценок на шкалах критериев.

Доказательство очевидно.

Введем функцию качества альтернативы  $V(y_i)$  и сделаем следующие предположения относительно свойств этой функции:

- существуют максимальное и минимальное значения  $V(y_i)$ ;
- при независимых критериях значение  $V(y_i)$  возрастает с улучшением оценок по каждому из критериев.

Присвоим каждой оценке на единой ЕПШ ранг, начиная с лучших оценок. Так, для ЕПШ в приведенном выше примере сочетанию лучших оценок соответствует ранг 1, оценке  $B_2$  — ранг 2, оценке  $A_2$  — ранг 3 и т. д.

Рассмотрим две альтернативы  $\alpha$  и  $\beta$ , представленные в виде векторов оценок по критериям. Можно определить ранги для всех компонентов векторов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Упорядочим ранги компонентов (оценок по критериям) альтернатив от лучших к худшим. Тогда каждой альтернативе можно поставить в соответствие вектор рангов оценок на ЕПШ, причем качество альтернативы определяется этим вектором:

$$V(\alpha) \Leftrightarrow V(R) = V(r_1, r_j, r_k, \dots, r_l),$$

$$V(\beta) \Leftrightarrow V(Q) = V(q_s, q_t, q_u, \dots, q_f),$$

где  $r_1, r_j, \dots, r_l$  — ранги оценок на ЕПШ оценок альтернативы  $\alpha$ ;

$q_s, q_t, q_u, \dots, q_f$  — ранги оценок на ЕПШ оценок альтернативы  $\beta$ .

*Утверждение 4.* Если условие независимости по понижению качества выполнено для всех пар критериев и ранги оценок альтернативы  $\alpha$ , следующие из ЕПШ, не хуже, чем ранги оценок для  $\beta$ , а ранг хотя бы одной оценки лучше, то альтернатива  $\alpha$  в соответствии с предпочтениями ЛПР превосходит альтернативу  $\beta$ :  $V(\alpha) > V(\beta)$ .

*Доказательство.* При выполнении условия независимости по падению качества имеем

$$V(R) = V(r_1, r_j, r_k, \dots, r_l) \geq V(q_s, q_t, q_u, \dots, q_f).$$

Продолжая заменять по одной оценки альтернативы  $\alpha$  на оценки альтернативы  $\beta$ , получаем:

$$V(q_s, r_j, r_k, \dots, r_l) \geq V(q_s, q_t, r_k, \dots, r_l),$$

.....

$$V(q_s, q_t, q_u, \dots, r_f) \geq V(q_s, q_f, q_u, \dots, q_f) = V(Q).$$

Суммируя левые и правые части, находим:

$$V(\alpha) > V(\beta),$$

что и требовалось доказать.

Не требуют доказательства следующие утверждения.

**Утверждение 5.** Альтернатива  $\alpha$  эквивалентна альтернативе  $\beta$ , если их оценки в соответствии с ЕПШ имеют одинаковые ранги.

**Утверждение 6.** Во всех случаях, когда не выполняются условия превосходства одной альтернативы над другой или их эквивалентности, альтернативы  $\alpha$  и  $\beta$  несравнимы.

Следовательно, попарное сравнение упорядоченных по ЕПШ оценок дает возможность непосредственно по информации ЛПР сделать вывод о превосходстве одной альтернативы над другой либо об их эквивалентности. Если информации ЛПР недостаточно, то альтернативы несравнимы.

### Упорядочение группы заданных альтернатив

Все реальные альтернативы, представленные их векторами критериальных оценок, сравниваются попарно приведенным выше способом. При этом легко устанавливается существование одного из трех отношений: превосходства ( $O_1$ ), эквивалентности ( $O_2$ ) или несравнимости ( $O_3$ ).

Пусть задана группа альтернатив и выявлены все попарные отношения между ними. Тогда отношения на совокупности альтернатив можно представить графом, вершины которого соответствуют альтернативам, направленная дуга — отношению  $O_1$ , двунаправленная дуга — отношению  $O_2$ , а отсутствие связи между вершинами — отношению  $O_3$ . Применим к этому графу описанный выше алгоритм «разборки».

Выделим на основе бинарного отношения в исходном множестве альтернатив все неподчиненные альтернативы (домини-

рующие над другими или несравнимые) и назовем их первым ядром. Среди альтернатив, оставшихся после удаления первого ядра, выделим второе ядро и т.д. Альтернативе, входящей в  $i$ -е ядро, присвоим  $i$ -й ранг, если над ней доминирует какая-либо альтернатива из  $(i-1)$ -го ядра и она сама доминирует над какой-либо альтернативой из  $(i+1)$ -го ядра. Если  $j$ -я альтернатива подчинена альтернативе из  $k$ -го ядра и доминирует над альтернативой из  $(k+p)$ -го ядра, то ее ранг находится в пределах от  $(k+1)$  до  $(k+p-1)$ . Полученные таким образом совокупность ядер и ранги альтернатив могут использоваться для построения частичного (так как не все альтернативы сравнимы) упорядочения. Покажем эту процедуру на нашем примере.

Компьютер сравнивает попарно проекты с помощью единой шкалы оценок критериев. Пусть один из поступивших проектов имеет такие оценки:  $A_2$  (разработана технология),  $B_2$  (окупаемость происходит за год),  $V_1$  (малые трудности организации производства),  $\Gamma_1$  (большой спрос). Второй проект имеет оценки:  $A_1$  (есть единичные изделия),  $B_2$  (срок окупаемости полгода),  $V_2$  (средние трудности организации производства),  $\Gamma_2$  (достаточный спрос). Сравнивая оценки проектов по единой шкале, находим, что  $B_2$  лучше  $V_2$  и  $A_2$  лучше  $\Gamma_2$ . Следовательно, первый проект лучше второго (по мнению ЛПР).

Отметим, что единая порядковая шкала не всегда позволяет сравнивать проекты. Так, проекты с оценками  $A_3B_2V_3\Gamma_2$  и  $A_2B_3V_2\Gamma_3$  не сравнимы, так как  $B_2$  лучше  $A_2$  и  $V_3$  лучше  $\Gamma_3$ , но  $V_2$  лучше  $\Gamma_2$  и  $B_3$  лучше  $A_3$ .

Компьютер осуществляет таким образом сравнения для всех пар объектов, а затем упорядочивает их по качеству.

## 10.5. Преимущества метода ЗАПРОС

Преимущества метода ЗАПРОС заключаются в следующем:

- все вопросы просты и понятны для ЛПР, они сформулированы на языке оценок критериев;
- отвечая на вопросы, ЛПР должен быть логичным и последовательным, компьютер проверяет его предпочтения на непротиворечивость;
- любые сравнения качества альтернатив могут быть объяснены на этом же языке.

## 10.6. Практическое применение метода ЗАПРОС

Метод ЗАПРОС неоднократно применялся при решении практических задач. Одной из наиболее важных была задача формирования пятилетнего плана прикладных научных исследований и разработок [12]. Число оцениваемых проектов составляло от нескольких сотен до нескольких тысяч. Была разработана анкета для экспертов, включающая восемь критериев с вербальными порядковыми шкалами: масштаб проекта, новизна ожидаемых результатов, квалификация исполнителя и т. д. Разработанное решающее правило использовалось для упорядочения проектов и отбора лучших.

Проверка прогностических возможностей метода ЗАПРОС была осуществлена по результатам выполнения пятилетнего плана НИР для 750 проектов. Частичный порядок, построенный на этапе планирования, был использован для разделения принятых проектов на три группы по их качеству. Оценка качества выполненных проектов также проводилась с помощью метода ЗАПРОС, но использовались уже другие критерии. Выполненные проекты также были разделены на три группы по их качеству. Анализ показал, что на множестве из 750 проектов была корреляция 82% между оценками на этапе планирования и оценками выполненных проектов [13], что можно считать хорошим результатом при пятилетнем сроке выполнения проектов.

## 11. Сравнение трех СППР

В [14] проводилось сравнение трех СППР: DECAID [15], Logical Decision [16] и ЗАПРОС. Две первые системы основаны на многокритериальной теории полезности — MAUT (см. лекцию 4). Прежде всего, следует заметить, что эти две СППР очень близки друг к другу по выходу: обе они направлены на получение количественной оценки полезности для любой альтернативы. Обе они используют аддитивное представление полезности в виде взвешенной суммы оценок критериев:

$$U(x) = \sum_{i=1}^N w_i U_i(x_i),$$

где  $U(x)$  — полезность многокритериальной альтернативы;  $w_i$  — количественный вес  $i$ -го критерия;  $U_i(x_i)$  — полезность оценки по  $i$ -му критерию.

Две СИПР различаются способом выявления весов и построения функций полезности по отдельным критериям. СИПР Logical Decision (LD) следует полностью основной схеме MAUT, подробно представленной в лекции 4. Это значит, что веса определяются путем нахождения точек безразличия на плоскостях пар критериев, а однокритериальные функции полезности строятся путем сравнения лотерей. В СИПР DECAID (D) веса назначаются ЛПР непосредственно путем указания на экране дисплея отрезков на линии, соответствующих важности критериев. Также графическим путем устанавливаются полезности каждой альтернативы по отдельному критерию.

В эксперименте группа испытуемых (студентов американского университета «Texas A and M») оценивала пять альтернатив, представлявших собой описание различных мест работы. Альтернативы имели оценки по четырем критериям: зарплата, местоположение, предлагаемая должность, возможность повышения. Первичные оценки были даны в виде словесных определений (кроме зарплаты). В результате эксперимента оказалось возможным сравнивать совпадение ответов испытуемых по упорядочению пяти альтернатив, по количественным весам критериев и оценкам альтернатив, полученным с помощью LD и D. Статистическая обработка проводилась с помощью пакета программ ANOVA.

Анализ показал, что при использовании двух СИПР группа испытуемых давала разные оценки полезности альтернатив. Были существенные различия в количественных весах критериев и оценках альтернатив по критериям. Для группы в целом только по одному критерию (предлагаемая должность) оценки важности были достаточно близки. Лишь для одного критерия (местоположение) были достаточно близки оценки альтернатив. В целом корреляция результатов двух СИПР не была статистически значимой.

Особый интерес представляло сравнение LD и D с СИПР ЗАПРОС (Z). Первичное словесное описание оценок альтернатив в виде трех упорядоченных оценок на шкалах по трем критериям и три уровня оценки зарплаты использовались СИПР ЗАПРОС для выявления предпочтений. Сравнение худших оценок по критериям с помощью ЕППИ позволило получить упоря-

дочение критериев по важности. С помощью ЕПШ сравнивались пять заданных альтернатив.

Следует напомнить, что СППР ЗАПРОС не позволяет строго ранжировать альтернативы; некоторые из них могут оказаться несравнимыми, так как информации ЛПР недостаточно для их сравнения. Поэтому сравнивать LD и Z, D и Z можно лишь для тех альтернатив, отношения между которыми можно было выявить системой Z. Оказалось, что для этих альтернатив корреляция результатов для пар LD—Z и D—Z статистически значима.

Что же следует из сравнения трех СППР? Причина несоответствия результатов, полученных с помощью LD и D, заключается, вероятнее всего, в большой чувствительности методов МАУТ к неизбежным человеческим ошибкам. СППР ЗАПРОС мало чувствительна к этим ошибкам. Поэтому отношения между альтернативами, построенные методом ЗАПРОС, намного надежнее.

Как известно, любой прибор имеет определенную точность измерения. По аналогии с этим можно утверждать, что возможности человека производить точные количественные измерения ограничены. Человек не может быть уподоблен точным весам, стрелка которых указывает на количественное значение полезности, веса критерия, оценки альтернативы, вероятности. Нет, эти «весы» имеют существенные дефекты. Поэтому методы, полагающиеся на количественные оценки ЛПР, крайне чувствительны даже к небольшим человеческим ошибкам. Небольшое отличие в измерении весов критериев — и результат применения метода совсем иной.

При этом возникает вопрос: что лучше — иметь ли точный выход СППР (количественные оценки, строгое ранжирование), хотя и весьма ненадежный, или иметь приближенный выход (разбиение альтернатив на классы, частичное ранжирование), но надежный и проверенный? На наш взгляд, второй вариант явно предпочтительнее. Его преимущество становится очевидным на практике, в ответственных реальных задачах, для решения которых и создаются СППР.

## Выводы

1. Вербальный анализ решений предназначен для исследования неструктуризованных проблем, имеющих качественное, словесное описание.
2. Методы вербального анализа решений позволяют сохранить качественное описание проблемы на всех этапах ее анализа. В них применяются качественные способы измерений и порядковые шкалы оценок по критериям. Для построения решающего правила используют психологически корректные операции получения информации от ЛПР. Полученная информация проверяется на непротиворечивость. Методы вербального анализа решений позволяют ЛПР постепенно формировать решающее правило.
3. Одним из проверенных практикой методов вербального анализа решений является ЗАПРОС, который позволяет строить частичный порядок на множестве многокритериальных альтернатив. Метод устойчив к возможным неточностям в оценках альтернатив и к возможным ошибкам ЛПР.

## Список литературы

1. Korhonen P., Larichev O., Moshkovich H., Mechitov A., Wallenius J. Choice behavior in a Computer-Aided Multiattribute Decision Task // J. Multicriteria Decision Analysis. 6(1997).
2. Larichev O. I. Cognitive Validity In Design Of Decision-Aiding Techniques // J. Multicriteria Decision Analysis. V.1. № 3. (1992).
3. Ларичев О.И., Мошкovich Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
4. Карнап Р. Философские основания физики. М.: Прогресс, 1971.
5. Осередько Ю.С., Ларичев О.И., Мечитов А.И. Исследование процесса выбора трассы магистрального трубопровода // Проблемы и процедуры принятия решений при многих критериях / Под ред. С. В. Емельянова и О. И. Ларичева: Сб. ст. ВНИИСИ. М., 1982.
6. Erev I., Cohen B. Verbal Versus Numerical Probabilities: Efficiency, Biases, And The Preference Paradox // Organizational behavior and human decision processes. 1990. № 45.
7. Huber B., O. Huber. Development Of The Concept Of Comparative Subjective Probability // J. of experimental child psychology. 1987. № 44.
8. Ларичев О.И., Зуев Ю.А., Гнеденко Л.С. Метод ЗАПРОС (Замкнутые Процедуры у Опорных Ситуаций) анализа вариантов сложных решений // Многокритериальный выбор при решении слабоструктуризованных проблем / Под ред. С. В. Емельянова: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1978. .
9. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.

10. Winterfeldt D. von, Fischer G. W. Multiattribute utility theory: Models and assessment procedures // D. Wendt, C. Vlek (Eds.). Utility, probability and human decision making. Dordrecht: Reidel, 1975.
11. McCrimman K. R., Wehrung D. A. Trade-off analysis: indifference and preferred proportions approaches // D. Bell, R. Keeney, H. Raiffa (Eds.). Conflicting Objectives in Decisions. N. Y.: Wiley, 1975.
12. Зуев Ю. А., Ларичев О. И., Филиппов В. А., Чуев Ю. В. Проблемы оценки предложений по проведению научных исследований // Вестник АН СССР. 1980. № 8.
13. Чуев Ю. В., Ларичев О. И., Зуев Ю. А., Гнеденко Л. С., Тихонов И. П. Интерактивные процедуры при планировании научных исследований и разработок // Проблемы информационных технологий / Под ред. Д. Черешкина: Сб. тр. ВНИИСИ. М., 1983. № 8.
14. Larichev O. I., Olson D. L., Moshkovich H. M., Mechitov A. I. Numerical Vs. Cardinal Measurements In Multiattribute Decision Making: How Exact Is Exact Enough? // Organizational behavior and human decision processes. 1995. Vol. 64. № 1.
15. Pits G. F. DECAID Computer Program. Carbondale. Illin. Univ. of Southern Illinois, 1987.
16. Smith G. R., F. Speiser. Logical Decision: Multi-Measure Decision Analysis Software. Golden. CO: PDQ Printing, 1991.

## Контрольное задание

**Дайте определения следующим ключевых понятий:**

*Неструктуризованные проблемы*

*Требования к методам принятия решений*

*Корректные процедуры измерений*

*Процедуры построения решающего правила*

*Проверка информации ЛПП*

*Метод ЗАПРОС*

*Замкнутые процедуры*

*Опорные ситуации*

*Единая шкала оценок критериев*

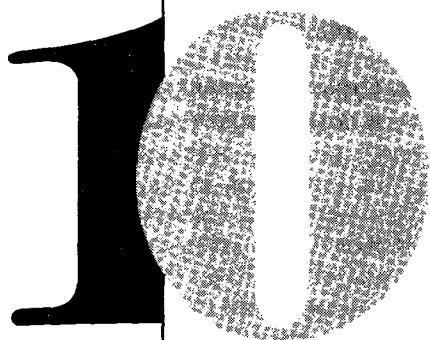
*Проверка условия независимости по предпочтению*

*Сравнение двух альтернатив*

*Несравнимость альтернатив*

*Упорядочение группы альтернатив*





# Консультанты по проблемам принятия решений и методы их работы



*Иногда политическое решение, принятое вот так, на основе только одной интуиции, может оказаться правильным. Тем не менее такой порядок решения важнейших политических вопросов таит в себе большую опасность.*

**Р. Хилсмен.** Стратегическая разведка  
и политические решения

## ВОЛШЕБНЫЕ СТРАНЫ

### Желтый, бурый, зеленый

(Фрагмент чипа знаний, раздаваемого детям в Евангелистских церквях мира через 1000 лет после описанных событий в Волшебных странах Монтландии и Свапландии)

В далекие, варварские времена на месте теперешних желтой, бурой и зеленой провинций сектора А15 Земли простиралась древняя страна Свапландия. Известно, что 320 лет она управлялась королями династии Ротвигов, последний из которых упоминается в исторических хрониках как Король-просветитель.

Пользуясь технологиями управления, изобретенными в древней Монтландии (красная и сиреневая провинции сектора А14), он сумел за 10 лет изменить свою страну: наладилось эффективное хозяйство, появилась прогрессивная система высшего образования, снизилась смертность. Единственный дошедший до нас фрагмент речи Короля вызывается кодом SVAP1015.

Но главным достижением 10-летнего правления этого выдающегося Короля было увеличение **коэффициента духовности** населения до высокого для того времени уровня. Были построены народные школы, заложены общедоступные библиотеки, были основаны Высшая Академия Духа, фонды поддержки богословия, самовоспитания, философии, искусства и литературы.

Король ввел богослужение на свапландском языке и пригласил в страну представителей разных конфессий.

Через 10 лет своего правления, когда жизнь в стране разительно переменилась и все ключевые посты в правительстве были в руках грамотных и честных чиновников, преданных Королю, он отказался от престола. Он подготовил и провел референдум, в ходе которого был одобрен переход к республиканской форме правления.

Удалившись от политической деятельности, Король-просветитель основал Университет Власти в стране Свапландии и долгие годы оставался его ректором.

В 90-летнем возрасте он отказался принять эликсир долголетия, присланный ему Президентом Монтландии, и переселился в Дом Господа.

## Лекция 10

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО ПРОБЛЕМАМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ РАБОТЫ

#### 1. Всегда ли успешна работа ЛПР?

Возникают естественные вопросы: насколько успешно руководители принимают решения? нужна ли им какая-то специальная помощь, кроме сбора информации?

Голландские ученые провели в 1984 г. анализ 235 внешнеполитических решений, принятых правительством Нидерландов в период с 1900 по 1955 г. [1]. По каждому решению они имели достаточно материала, так как по закону Нидерландов все государственные документы — протоколы заседаний кабинета министров, служебные записки и т. д. — через 25 лет становятся открытыми для анализа. В результате было выяснено, что для большинства решений характерен упрощенный подход, ведущий к исключению части важных факторов и не учитывающий неопределенность. Анализ показал стремление руководителей упрощать сложные ситуации и принимать решения, пользуясь простыми правилами. И именно в этот период имели место существенные неудачи во внешней политике Нидерландов.

Докладывая свои результаты на международной конференции, голландские ученые подчеркнули, что они не считают свое правительство хуже правительств других стран. По их мнению, подобный анализ в других странах дал бы похожие результаты.

Если обратиться к российским государственным решениям, то можно найти немало случаев, когда решение признавалось неудачным и отменялось вскоре после его принятия. Приведем лишь два примера: способ приватизации жилья в Москве в 1992 г. и решение о дополнительном налоге на водку в 1994 г.

В современном мире резко возросла сложность принятия разумных решений, как деловых, так и личных. Назовем главные причины этого явления.

Во-первых, увеличилось количество критериев, по которым следует оценивать качество вариантов решения. Так, наряду с прибылью и затратами на реализацию проекта (например, постройка нового завода) необходимо учитывать воздействие на

окружающую среду, наличие рабочей силы, влияние на различные группы населения и т. д.

Во-вторых, современные средства передвижения людей и товаров объединили мир. Принятое решение в одной стране часто оказывает влияние на жизнь в других странах, и это нельзя не учитывать.

В-третьих, жизнь быстро меняется. Появляются новые технические средства (например, компьютерные сети), новые технологии (например, биотехнология), новые товары и услуги, возникают новые организации. Становится все труднее предугадать будущий ход событий. В связи с этим жизнь многих, даже правильных решений коротка, нужно постоянно что-то менять, принимая во внимание новые обстоятельства.

В этом постоянно усложняющемся мире ЛПР (руководитель страны, министерства, крупной организации, маленькой фирмы) сталкивается со сложными проблемами выбора при неопределенности последствий и при наличии многих критериев оценки качества решения.

Существует вполне обоснованное мнение, что возможности людей правильно управлять, принимать решения далеко не соответствуют объективным потребностям современного мира. Именно в связи с этим особое значение имеет привлечение для помощи руководителям опытных и хорошо подготовленных консультантов.

## **2. Консультанты и консультативные фирмы**

В предыдущих лекциях были представлены различные методы, подходы и сведения, относящиеся к проблемам принятия решений. Пора поговорить о тех, кто может профессионально использовать методы принятия решений.

В отличие от физики и химии, на успех в принятии решений сильно влияют квалификация, опыт и искусство пользователя [2]. Речь идет о людях сравнительно новой профессии — консультантах по проблемам принятия решений (иногда их называют аналитиками). Чаще всего консультанты трудятся в так называемых консультативных фирмах [3]. Обычно эти фирмы невелики: от 10 до 20 сотрудников.

Под названием «консультативная фирма» сейчас можно встретить фирму, связанную с самым разным видом деятельности. По-

этому следует иметь в виду, что мы будем говорить далее о фирмах, основным направлением деятельности которых является помощь ЛПР в выборе лучших вариантов решений. Как и в предыдущих лекциях, под ЛПР мы будем понимать руководителя государственной или частной организации.

Консультативные фирмы появились после второй мировой войны в качестве ответа на объективно возникшую потребность в анализе альтернативных вариантов сложных решений. Первой из таких фирм стала знаменитая ныне «РЭНД-Корпорейшн», выполнившая в 40-х годах ряд классических исследований для министерства ВВС США. В настоящее время в США существуют уже десятки консультативных фирм. Среди наиболее известных за последние десятилетия американских консультативных фирм, кроме «РЭНД-Корпорейшн», следует назвать: «Decision and Design» «Гудзонский институт», «Мак-Кинси» и многие другие [3]. Известные консультативные фирмы существуют в западноевропейских странах, например фирма SEMA во Франции. Часто консультативные фирмы имеют филиалы в других странах.

Консультативные фирмы производят принципиально новый вид продукции. Эта продукция имеет вид кратких отчетов, листов бумаги с идеями и предложениями; как правило, она предназначена для индивидуального заказчика.

Деятельность консультативных фирм удобней всего сравнить с деятельностью врача. И тут, и там основой всего является постановка правильного диагноза и выбор лечения. Чаще всего работа консультативных фирм организуется следующим образом: в какой-то организации возникает необходимость в разрешении возникшей проблемы, причем ЛПР понимает, что своих усилий недостаточно и нужен совет знающих специалистов. Консультативная фирма направляет к заказчику консультантов, которые изучают поставленную перед ними задачу и подготавливают предварительный отчет с описанием сути поставленной задачи и возможных путей ее решения. После одобрения отчета заказчиком консультанты приступают к работе. Их действия в ходе этой работы: многочисленные интервью, изучение официальных отчетов, поиск неформальных структур и реального соотношения влияний различных лиц в организа-

ции и т.д. Свои выводы они представляют в специальном отчете, содержащем «взгляд со стороны» на положение дел.

Что же ценного несет деятельность консультативных фирм? Почему к ним обращаются специалисты, прекрасно знающие свои организации, их внешнее окружение и понимающие суть рассматриваемых проблем?

Имеются две основные причины. Первая из них заключается в том, что опытные консультанты имеют дело с множеством сложных проблем и наблюдают различные пути их решения. Конечно, каждая проблема уникальна, но ее отдельные элементы могли встречаться раньше. Кроме того, частое столкновение с трудными проблемами вырабатывает ряд профессиональных навыков. Некоторым из этих навыков консультанты сами учатся у лучших руководителей, а потом уже передают всем прочим. Недаром Н. Паркинсон сравнивал консультантов с пчелами, которые, перенося пыльцу с одного цветка на другой, опыляют их [4]. Во-вторых, у самих консультантов возникает ценный опыт анализа сложных проблем, определенная методология поиска решений. Эта методология может оказаться полезной при активной помощи лиц, хорошо знающих специфику конкретного исследуемого случая.

В ряде случаев может принести пользу сам процесс поэтапного анализа проблемы. Так, на основе изучения административного аппарата США Р. Хилсмен пишет: «Государственные деятели и ответственные чиновники,... признавая важность анализа и здравого смысла, по-видимому, не вполне понимают значение дисциплинирующего процесса более или менее научного анализа или роли теории и концепций как средств такого научного анализа» [5].

Практики склонны переоценивать роль конкретных особенностей своей проблемы. При анализе путей решения различных по своей природе научно-технических, организационных и даже политических проблем выбора могут встретиться некоторые удивительно похожие моменты: выделение основных факторов, поиск альтернатив, взвешивание всех «за» и «против» и т.д. Эта похожесть влечет за собой ряд методологических правил анализа проблем и предопределяет выбор специальных методов, помогающих руководителям проводить такой анализ.

Анализируя опыт решения проблем в разведывательном аппарате США, Р. Хилсмен показывает на практических примерах, что работа руководителя-практика состоит в выдвижении и проверке гипотез, в анализе и сравнении альтернатив. Он пишет: «Несомненно, теоретическая и методологическая подготовка была бы весьма полезным и, возможно, даже необходимым дополнением к умственным способностям работника, занятого проверкой подобных гипотез, и, кроме того, у нас есть основания утверждать, что в ряде случаев или в некоторых областях такая подготовка может стать также условием возникновения удачной догадки».

Вторая причина не менее важна. При анализе сложных проблем может оказаться особенно ценным взгляд со стороны, взгляд независимых людей, не связанных с традициями данной организации и по своему положению менее консервативных. Возможно, что правильные решения иногда возникают и у сотрудников организации, обратившейся за помощью к консультантам, но не всегда эти решения могут быть доведены до сведения руководителя. Отметим, что в административном аппарате анализ альтернатив редко выделяют как самостоятельную нагрузку. Чаще всего руководитель решает одновременно ряд многих задач. В этих условиях свежий человек, консультант, может расширить фактические возможности руководителя. Кроме того, известно, что «нет пророка в своем отечестве». Многие предложения консультантов воспринимаются руководством совсем по-иному, чем идеи подчиненных.

Используя приведенную выше аналогию с медициной, отметим, что самолечение вредно, хотя бывает, что больной знает свою болезнь. Несомненно, что опытный врач многое извлечет из своих предыдущих удач и неудач в лечении определенных болезней. Но, как и врачи, консультанты ничем не застрахованы от ошибок кроме своего опыта и интуиции.

Любое умение развивается и оттачивается по мере накопления опыта. В связи с этим талантливый аналитик, попавший в консультативную фирму, может со временем стать ценным источником полезных советов.

Указанных выше двух причин недостаточно для понимания успеха многих консультативных фирм. Необходимо заглянуть внутрь, понять характерные черты стиля их работы.



### **3. Некоторые характерные черты деятельности консультативных фирм**

В работе многих консультативных фирм можно заметить следующие характерные черты.

#### **3.1 Внимание к нуждам заказчика**

Для руководителя важно почувствовать, что его заботы являются таковыми и для консультанта.

Консультативные фирмы стремятся в ходе обследования не только установить пути решения конкретной проблемы, но и посмотреть шире: понять связь этой проблемы с нуждами заказчика, помочь заказчику найти целостный взгляд на положение вещей. Иногда из такого анализа следует, что поставленную задачу решать не надо, а нужно рассмотреть более общую задачу. Так, одна из французских фирм, выполняя анализ организационной структуры организации-заказчика, предложила произвести перестройку производства и перейти на выпуск другой продукции. Так же поступает и опытный врач, который старается лечить не симптом, а болезнь.

Опытные консультанты никогда не стараются определить методы решения проблемы до изучения самой проблемы. Какими бы модными ни были эти методы – создание банков данных, компьютерные сети, управление по целям, – консультанты стараются установить прежде всего реальные потребности заказчика. Заметим, что точно так же опытный врач понимает уникальность каждого человеческого организма и ищет наилучшие пути его лечения.

Конечно, в общем и целом внимание к нуждам заказчика продиктовано стремлением консультативной фирмы получить хороший заказ, больше заработать. Но, несомненно, заказчик выигрывает от этого.

#### **3.2. Конфиденциальный характер результатов работы**

Для того чтобы консультанты могли понять суть решаемой проблемы, им нужно многое узнать о деятельности организации, о ее структуре, о внутренней ее жизни. Естественно, что такие сведения всегда предоставляют неохотно. Административный аппарат не заинтересован в том, чтобы всем была из-

вестна правда о реальных процедурах принятия решений. Любой организации неприятно, когда всякий желающий может прочесть о несовершенстве ее структуры, близорукости руководства и постоянных ошибках в выборе вариантов решений. Следовательно, существует вполне обоснованная «защитная реакция» на допуск посторонних людей к деловым тайнам жизни административного аппарата. В то же время консультанты не смогут ничего сделать без понимания сути решаемой проблемы.

Существуют два возможных выхода из этого положения.

Во-первых, полная конфиденциальность в проведении работы. Результаты работы принадлежат заказчику. Большинство конкретных работ консультативных фирм оформляется в виде отчетов с грифом «Для служебного пользования», причем срок действия этого грифа определяет заказчик. Сотрудники консультативных фирм часто публикуют статьи с изложением своих методов, но иллюстрируют их вымышленными примерами. Более того, иногда, по просьбе заказчика, на определенный период времени задерживается публикация новых методов решения проблем.

Во-вторых, современная работа с сотрудниками аналитического отдела самой организации. Более опытные внешние консультанты направляют работу этих сотрудников. Своим же собственным сотрудникам легче получить необходимую информацию в виде, требуемом для тщательного анализа. Такой симбиоз часто приносит хорошие результаты. Отметим, что при этом также соблюдается конфиденциальный характер работы.

### 3.3. Независимость от заказчика

Консультативные фирмы, имеющие авторитет и репутацию в конкретной области, обладают определенной независимостью от заказчика. Часто по условиям контракта заказчик отдельно оплачивает первый этап работы консультантов – предварительное обследование. Конечно, по финансовым соображениям консультативные фирмы заинтересованы в получении крупного контракта. Но иногда консультанты после предварительного обследования приходят к выводу, что проблемы выбора нет, и они приглашены для того, чтобы объявить единственный вариант

наилучшим. В таких случаях консультант должен прямо заявить об этом заказчику и отказаться от продолжения работ.

Во многих случаях независимость консультативных фирм чисто кажущаяся, особенно когда речь идет о крупном заказе, на которого, в основном, работает фирма. Чаще всего в роли такого заказчика выступает государственный административный аппарат.

### 3 4. Высокая квалификация консультантов

Непрерывная работа над повышением квалификации своих сотрудников — важная составляющая внутренней жизни многих консультационных фирм. Дело в том, что работа консультанта предъявляет особые требования не только к профессиональным знаниям консультанта, но и к чертам его личности. Очевидны трудности, связанные с необходимостью быстрого анализа ситуаций, возникающих в административном аппарате. От консультанта требуется умение налаживать отношения с людьми самого разного склада, он должен обладать спокойным и уравновешенным характером, уметь поддерживать беседу на разнообразные темы, понимать заботы и тревоги своих собеседников. Ясно, что наряду с этим необходим особый талант — понимание сложных проблем. Ясно, что сочетание всех перечисленных качеств встречается достаточно редко. Поэтому происходит строгий отбор желающих поступить на работу в консультативную фирму. Так, в английских консультативных фирмах на постоянной работе остается один человек из тысячи претендентов [6].

Сотрудник, принятый в фирму, проходит обучение искусству консультанта. Обычно его включают в бригаду из двух—трех человек, возглавляемую опытным консультантом. Обучение происходит в ходе решения разных практических задач. Это наилучший способ для передачи умения, навыков. Продолжая аналогию с медициной, заметим, что без практики невозможен рост квалификации врачей.

Во многих консультативных фирмах молодых сотрудников включают в две—три группы, чтобы несколько опытных сотрудников фирмы могли составить о них свое мнение. Периодически сопоставляются оценки различных людей, которые влияют на карьеру молодого сотрудника.

Конечно, работа в консультативных фирмах сложнее, чем во многих других местах. Как правило, она неплохо оплачивается, но дело не только в этом. Молодые сотрудники могут получить во время своей работы консультантом богатый практический опыт, который поможет им далее сделать успешную карьеру.

Лучшим и единственным свидетельством профессионального умения консультантов является успех в решении практических задач. В описании роста фирмы «Мак-Кинси» есть одна интересная деталь: клиентура фирмы увеличивалась за счет того, что одни клиенты рекомендовали ее другим на основе опыта совместной работы. Следовательно, был успех, который позволял расширить рынок заказов.

### 3 5. Совместная работа с заказчиком

Психологически понятно, что многие люди без особого энтузиазма встречают предложения и советы, касающиеся работы, которую они выполняют. Тем более это справедливо для сотрудников административного аппарата, вынужденных работать рядом с консультантом, которого пригласил их руководитель. В то же время деловой контакт с сотрудниками аппарата крайне важен консультанту для быстрого анализа проблемы.

Обычным путем решения многих проблем является организация совместной работы групп из консультантов и сотрудников административного аппарата. Результаты анализа принадлежат группе в целом. Часто сотрудники аппарата получают при этом дополнительную подготовку, повышают свою квалификацию. У них появляется стимул сотрудничать с консультантами.

Такая совместная работа может иметь и побочные, негативные для фирмы последствия. У руководителей крупных организаций может возникнуть желание обучить своих сотрудников и создать свои «консультативные отделы». Возникновение «собственных консультантов» является причиной сокращения рынка заказов для консультативных фирм.

Но не во всех случаях это так. Иногда «собственные консультанты» являются источником заказов для подготовившей их консультативной фирмы.

Можно высказать мнение, что для сотрудников консультативных фирм имеются лучшие условия приобретения опыта, чем для «собственных консультантов».

#### **4. Примеры практических задач**

В качестве иллюстрации к приведенным выше характерным особенностям деятельности консультативных фирм приведем практические примеры консультативных работ, выполненных при участии автора данной книги.

##### **4 1. Планирование развития городов**

Расширение и перестройка любого города не должны осуществляться стихийно. Следует просчитать и оценить варианты застройки новых районов, перестройки центра, поставить какие-то пределы расширению территорий. В 80-е годы планирование развития небольших городов в СССР обычно проходило в два этапа.

На первом этапе осуществлялись формирование и детальная проработка нескольких вариантов-стратегий развития города. Стратегический вариант развития представлял собой, например, застройку территорий за рекой, разделяющей город, перенос аэропорта за пределы города и застройку территорий бывшего аэропорта и т. д. Каждый такой стратегический вариант включал все площадки, которые предполагалось построить. Число расселяемых на площадках людей определялось исходя из существующих норм застройки.

После детальной проработки каждый из вариантов оценивался по ряду критериев. Далее варианты сравнивались и выбирался наилучший.

Детальный анализ проблемы показал, что основная трудность для проектировщиков состояла не столько в сравнении стратегических вариантов, сколько в разработке каждого из них, в выборе наилучших площадок для застройки. Вариантов строительных площадок было много; одновременный учет достоинств и недостатков каждой площадки представлял собой весьма сложную задачу.

В процессе анализа проблемы возникла идея совместить этапы формирования и выбора вариантов. Были введены кри-

терии оценки как для каждого варианта, так и для каждой из возможных площадок застройки в рамках стратегического варианта развития города.

Качество получаемых в ходе решения задачи вариантов оценивалось в общем случае по четырем критериям — социальному, экологическому, ландшафтно-композиционному и социологическому [7]. Социальный критерий выражает степень удовлетворенности населения временем, затрачиваемым на дорогу до работы. Для измерения социального критерия вычисляется численность населения, не удовлетворенного временем, затрачиваемым на дорогу до работы. Экологический критерий выражает степень задымленности воздуха над жилыми территориями. Для его измерения используется численность населения, расселяемого на территориях, степень задымления которых превышает предельно допустимые концентрации. Ландшафтно-композиционный критерий отражает богатство ландшафта и близость к историческому центру города. Для его измерения используется численность людей, проживающих среди бедного ландшафта, в удаленных от центра города районах. Экономический критерий отражает затраты по реализации варианта.

Эти критерии не являются независимыми. Проектировщик может осуществить перечень мероприятий по улучшению оценок (площадок или вариантов) по одним критериям за счет ухудшения оценок по другим. Например, мероприятия по созданию очистных сооружений приведут к увеличению затрат (экономический критерий), но в то же время уменьшат задымленность воздуха над застраиваемыми территориями. Ввод дополнительных автобусных маршрутов, связывающих центры площадок непосредственно с предприятиями, приводит к увеличению затрат, но уменьшает время на дорогу до работы. Разбивка парков и создание искусственных водоемов связаны с определенными затратами, но улучшают значение ландшафтно-композиционного критерия.

Наряду с критериями заданы ограничения: на расселение населения на различных площадках; на потребность в рабочей силе; на общую численность трудоспособного населения.

Еще раз подчеркнем содержательные особенности данной задачи:

- каждый концептуальный вариант развития города характеризуется совокупностью площадок, которые могут быть использованы для реконструкции и нового строительства;
- каждая реализация варианта (альтернатива) состоит из конкретного набора площадок для реконструкции и нового строительства;
- каждая площадка и каждая альтернатива характеризуются оценками по приведенным выше критериям;
- критерии являются зависимыми; один из них (ландшафтно-композиционный) имеет чисто качественный характер.

Особенности поставленной в таком виде задачи определили новый методологический подход к ее решению. Она была представлена как задача многокритериального линейного программирования (см. лекцию 3) с конструируемой областью допустимых решений [7]. Иначе говоря, при заданных ограничениях на ресурсы ЛПР искал наилучшее (с точки зрения многих критериев) решение в рамках каждого из стратегических вариантов, а уже затем сравнивал друг с другом несколько наилучших воплощений стратегических вариантов. Для решения задачи был использован метод STEM.

В [7,8] представлены как формальное описание задачи, так и метод ее решения. Созданное программное обеспечение позволяло ЛПР сравнивать оценки по критериям, наблюдая на плане города, какие площадки входят в ту или иную альтернативу.

#### 4.2. Календарное планирование работы полиграфического предприятия

В больших полиграфических предприятиях существует несколько линий брошюровки и выпуска книг. План выпуска книг на конкретный период (например, месяц) обычно задан. Задача состоит в том, чтобы определить, на какой линии и в какой последовательности должна изготавливаться та или иная книга [9].

Приведем краткое описание технологии работы типографии. Изготовление книг выполняется на специальных поточных линиях и рассматривается в календарном планировании как одна операция. Для работы линий изготовления книг необходимо наличие нескольких видов полуфабрикатов. Так, в ча-

стности, нужно, чтобы были спшиты книжные блоки, а для этого в свою очередь необходимо выполнение операций подборки книжного блока, а также операций приклейки и накладки иллюстраций. Необходимо также наличие папок.

Формально рассматриваемая задача может быть представлена как задача теории расписаний. Задачи календарного планирования имеют комбинаторный характер. Обычный подход к решению таких задач состоит в построении математической модели и в разработке для нее оптимизационных алгоритмов. Известно, что большинство задач календарного планирования являются NP-сложными [10]. Отметим, что ближе всего к рассматриваемой в данной работе задаче подходит модель системы независимых машин с общими ресурсами. В [11] показано, что уже при одном ресурсе и трех машинах составление кратчайшего расписания для такой системы является NP-сложной задачей. Это практически исключает надежду на то, что когда-нибудь удастся построить оптимальные алгоритмы для таких моделей. Кроме того, такой подход, как правило, не позволяет учесть особенности конкретного производства.

Для решения задачи был предложен иной подход. Известно, что люди, осуществляющие на практике планирование (диспетчеры), достаточно успешно справляются со своей задачей. Возникла идея построения дескриптивной модели, имитирующей работу диспетчера, т.е. создания модели (программы), результаты работы которой точно совпадали бы с результатами работы диспетчера при той же входной информации. В ходе работы удалось построить такую модель. Она показала, какие задачи по переработке информации решает диспетчер.

Проведенные ранее исследования (см. лекцию 9) показали, что когнитивные операции, выполняемые человеком при принятии решений, можно разделить на группы по их сложности для человеческой системы переработки информации. В частности, к сложным операциям относится сравнение многокритериальных объектов. Дескриптивная модель позволила выявить операции, сложные для человека.

Для диспетчера были разработаны человекомашинные процедуры, помогающие ему с лучшим качеством решать задачи выбора [9]. Сложные задачи сравнения многокритериальных



объектов были заменены совокупностью более простых задач сравнения объектов, различающихся оценками по двум критериям (см. лекцию 9).

## 5. Роли ЛПР и консультанта

Нельзя представлять дело так, что консультант, помогающий в выборе наилучшего варианта решений, практически заменяет руководителя, и роль последнего сводится к «озвучиванию» чужих решений.

Наоборот, консультант является не более чем помощником ЛПР. Присутствие консультанта заставляет руководителя уделять больше сил и времени стратегическим аспектам своей политики. Возникающее иногда у консультанта желание повлиять на неумелого руководителя является одной из опасных ошибок. Если такое желание будет обнаружено, то репутация консультанта сильно пострадает. Естественно, что в сложной проблеме выбора только руководитель несет ответственность за принятие решений. В связи с этим умный ЛПР хочет, чтобы именно его политика лежала в основе принятия решений.

Роль консультанта состоит в рациональной организации процесса принятия решений: в четком выявлении предпочтений руководителя, в организации сбора и обработки информации от экспертов, в использовании «дружественных» по отношению к пользователю систем поддержки принятия решений. Короче говоря, здесь роли должны быть четко определены.

Конечно, ЛПР часто перегружен и связан многими обязательствами. Однако позиция «Подготовьте решение и принесите его мне» чаще всего приводит к печальным последствиям — к утрате контроля за событиями и к возникновению совокупности частных, противоречивых решений, не связанных общей стратегией.

Отметим самое важное. Принятие стратегических решений всегда имеет субъективный, личностный характер и всегда связано с преодолением неопределенности. Иначе говоря, можно оценить последствия принимаемых решений, но точно предугадать будущее невозможно. Необходимо, чтобы интуиция руководителя многократно усиливалась чувством личной ответственности за принятое решение: «За разбитые горшки платить

мне!» Личная ответственность должна подкрепляться высоким творческим потенциалом руководителя, большой работоспособностью, его участием в сложном процессе поиска наилучшего решения.

Существует обоснованная точка зрения, что в каждой стране должны быть квалифицированные и независимые консультативные организации [12]. Следует напомнить, что наряду с «РЭНД-Корпорейшн» в США существуют десятки консультативных организаций, специализирующихся на оценке вариантов решений. Государственный аппарат и частные фирмы дают им заказы. Среди значительных и интересных решений задач, описанных в открытой литературе, упомянем организацию переговоров и подготовку договора между Египтом и Израилем в Кэмп-Дэвиде [13], в которых важную роль играла консультативная фирма «Decisions and Design».

Подведем некоторые итоги. Как в государственных, так и в частных организациях аппарат управления вместе с его руководителями может быть оценен по тому, насколько удачны, своевременны и дальновидны принимаемые решения. Как правило, эти решения принимаются в условиях неопределенности, конфликта и противодействия. Но даже в таких условиях квалифицированный анализ позволяет правильно предсказать и оценить последствия многих решений.

## **6. Моральные критерии в деятельности ЛПР и консультанта**

Итак, консультант помогает ЛПР в подготовке важных и ответственных решений. Но мир сложен, и бывают различные проблемы принятия решений. Независимость консультанта позволяет ему иметь собственную оценку того, что хочет делать, чего добивается ЛПР. Как неоднократно подчеркивал один из лучших консультантов по принятию решений во Франции проф. Б. Руа, консультант тоже имеет право сделать свой выбор — решить, за какую задачу следует браться.

В современном мире существуют ЛПР, подготавливающие террористические акты. К сожалению, есть люди, планирующие и осуществляющие разбой и геноцид. В недалеком прошлом были тираны, строившие лагеря для планомерного уничтожения людей.

Как и всякий нормальный человек, консультант обязан руководствоваться моральными принципами в своей деятельности. Он не должен, естественно, участвовать в деятельности, противоречащей его моральным принципам. Даже в обычных задачах он должен помнить, что существуют моральные, этические критерии оценки альтернатив. Конечно, консультант не может ставить своей задачей перевоспитание ЛПР. Но он может и должен обращать внимание ЛПР на чисто прагматические проблемы использования моральных критериев при принятии решений.

В разных странах и в разные времена люди при оценках своих поступков и поступков других людей исходили из одних и тех же нравственных принципов. Не было стран, где бы восхищались ворами, обманщиками и трусами. Были нюансы в тех или иных оценках, но сходство нравственных норм поразительно [14]. Для подавляющего большинства людей свойственна подсознательная вера в принципы порядочности. При нарушении этих принципов люди стремятся либо оправдать свое поведение, либо свалить ответственность на других. Убийцы в своих исповедях перекладывают ответственность на своих родителей, объясняя свои поступки плохим воспитанием. Бизнесмен, укравший у общества громадные деньги, говорит, что он поступал не хуже других. Иначе говоря, люди явно или неявно оценивают свои поступки, используя определенные стандарты поведения, присущие человеческому обществу. «Отсюда следует, что мы вынуждены верить в подлинное существование добра и зла», — пишет К. Льюис [14].

Первому великому политологу Возрождения Н. Макиавелли приписывают отсутствие нравственных норм. Это не так. Он хорошо понимал и признавал эти нормы. Макиавелли давал такие советы государям: «.... благоразумному государю следует избегать тех пороков, которые могут лишить его государства, от остальных же — воздерживаться по мере сил... [15]. Следовательно, автор «Государя» прекрасно знал общечеловеческие нравственные нормы и в соответствии с ними давал оценки всему, даже своим советам. Обсуждая поступки людей, Макиавелли часто исходил из того, что люди дурны, они не следуют нравственному закону. Однако наличие морали заставляет людей оценивать свои поступки по определенным критериям.

Казалось бы, какое отношение имеют нравственные критерии к реальному миру ЛПР? Как можно, преследуя собственную выгоду или выгоду своего государства, использовать моральные критерии? Не лучше ли просто прикрывать ими свои эгоистические решения? Но все не так просто. В последние годы возросло количество серьезных исследований по этике в принятии деловых решений [16]. Оказывается, что соблюдение нравственных критериев при принятии деловых решений может быть выгодно для организации.

Фирма, которая обеспечивает высокое качество своих продуктов и тем самым ведет себя порядочно по отношению к покупателям, гарантирует себе со временем хорошую репутацию и новые рынки сбыта.

Руководитель, применяющий моральные критерии при подборе своих подчиненных, может полагаться на их вполне предсказуемую честность, вместо того чтобы провозглашать очередные кампании по борьбе с коррупцией.

Фирма, проводящая нечестную политику по отношению к конкурентам, привлекает непорядочных сотрудников, которые дорого обходятся фирме и, в конечном счете, ведут ее к разорению [16].

Фирмы, которые ориентируются только на кратковременную прибыль любой ценой, проигрывают в стратегическом плане [16].

Как отмечает Ю. Шрейдер [17], «Исторический опыт показывает, что отказ от требований морали, в конечном счете, пагубно сказывается на реальной жизни». Конечно, жизнь сложна, и руководитель часто вынужден принимать решения, неудовлетворительные с точки зрения нравственных критериев. Важно, чтобы он, по крайней мере, знал подлинную цену своих решений.

## **7. Методы принятия решений и искусство их применения**

Консультант входит в кабинет ЛПР и начинает первую беседу... О чем они говорят? Естественно, о том, что важно для ЛПР. Спектр проблем принятия решений может быть самым широким: рост недовольства в обществе, стремление провинции отделиться от центра, поведение конкурентов на рынке, дивер-

сификация продуктов и т.д. Но во всех случаях разговор идет на языке, привычном и понятном для ЛПР.

Как должен вести себя консультант, чтобы иметь успех, получить выгодный заказ и при этом действительно помочь ЛПР? Он должен быть опытным, умелым. Мы не можем указать книгу, которая обучала бы этому искусству — искусству первичного анализа и структуризации проблемы. Это не случайно: такое искусство нельзя изложить в учебниках, а в жизни оно постигается на конкретных примерах, как учат в медицине искусству диагностики болезней.

Отметим, что есть прекрасные книги по исследованию операций [18], по системному подходу [19], которые дают представление о сложности первичного анализа проблем. Так же, как и начинающий врач, подражая более опытным коллегам, через ошибки и успехи консультант год за годом приобретает свое искусство и со временем становится экспертом.

Когда этап первичного анализа проблемы пройден, консультант должен показать ЛПР, что, наряду с искусством быстрого понимания чужих трудностей, у него есть за душой что-то профессиональное. Он должен реально помочь ЛПР прийти к трудному компромиссу между противоречивыми оценками альтернатив по критериям, найти согласие между конфликтующими активными группами. Методы принятия решений, которые изложены в различных лекциях этой книги, являются, на наш взгляд, средствами в профессиональном багаже консультанта, в его «ящике с инструментами». Знания методов принятия решений и систем поддержки принятия решений являются частью профессиональной подготовки консультантов.

Итак, если первичный анализ проблемы, поиск идеи ее решения, разумная структуризация являются искусством, то это искусство подобно искусству врача, шахматиста. Но как мы знаем, есть многочисленные книги о шахматных дебютах и окончаниях, есть медицинские учебники и научные монографии. Иначе говоря, есть способ передачи определенной части знания. И книги по принятию решений, в том числе данная книга, служат той же цели: они дают методы, приемы, которыми может пользоваться консультант.

## Выводы

- Одной из новых профессий, появившихся в последние десятилетия, является профессия консультанта по принятию решений. Объективная потребность в таких специалистах определяется: 1) сложностью задач выбора; 2) загруженностью ЛПР; 3) необходимостью использовать методы принятия решений, помогающие «заострить» интуицию ЛПР, объединить политику ЛПР и знания экспертов
- Во многих странах мира существуют консультативные фирмы по проблемам принятия решений. При высоком профессиональном уровне работы для таких фирм характерно: внимание к нуждам заказчика, конфиденциальный характер результатов работы, независимость от заказчика, совместный с заказчиком анализ сложных проблем. Разумный, опытный и успешный консультант способен оказать ЛПР существенную помощь.
- Исключительно важны моральные критерии оценки решений ЛПР, так же как и моральные критерии, определяющие те задачи, в решении которых считает возможным принять участие консультант.

## Список литературы

1. Saris W., Gallofer I. Formulation of real life decisions: a study of foreign policy decisions // K. Borcharding et al. (Eds.). Research perspectives on Decision Making under Uncertainty. North-Holland, Amsterdam, 1983.
2. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979.
3. Диксон П. Фабрики мысли. М.: Прогресс, 1976.
4. Паркинсон С. Н. Закон Паркинсона. М.: Прогресс, 1989.
5. Хилсмен Р. Стратегическая разведка и политические решения. М.: ИЛ, 1957.
6. Лузин А.Е., Озира В.Ю. Консультативные фирмы капиталистических стран по управлению. М.: Экономика, 1975.
7. Ларичев О. И., Павлова Л. И., Осипова Е. А. Многокритериальные задачи с конструируемыми вариантами решений при ограниченных ресурсах // Проблемы и методы принятия уникальных и повторяющихся решений / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ.М., 1990. № 10.
8. Осипова Е.А. Проблема формирования вариантов развития городов // Человекомашинные процедуры принятия решений / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ.М., 1988. № 11.
9. Булгак А.С. Deskриптивная модель работы диспетчера полиграфического предприятия // Системы и методы поддержки принятия решений / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева: Сб. тр. ВНИИСИ.М., 1986. № 12.
10. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1982.
11. Булгак А.С., Вайнштейн А. Д. Задача календарного планирования для системы независимых машин с общим ресурсом // Электронная техника. Сер. 9. 1985. №2 (55).

12. Дрор И. Укрепление потенциала правительств в отношении разработки политики. Секретариат ООН. Июль 1995.
13. Raiffa H. The Art and Science of Negotiation. Cambridge: Harvard University Press, 1982.
14. Льюис К. С. Просто христианство. М.: Гендальф, 1994.
15. Макиавелли Н. Государь. СПб: Лениздат, 1993.
16. Messick D. M., Tenbrunsel A.E. (Eds.) Codes of Conduct. N.Y.: Russell Sage Foundation, 1996.
17. Шрейдер Ю. А. Лекции по этике. М.: Мирос, 1994.
18. Райверт П., Акофф Р. Л. Исследование операций. М.: Мир, 1966.
19. Checkland P. B. Systems Thinking, Systems Practice. N.Y.: Wiley, 1981.

## **Контрольное задание**

**Дайте определения следующих ключевых понятий:**

*Консультативные организации*

*Научный анализ и здравый смысл*

*Характер деятельности консультативных фирм*

*Требования к консультантам*

*Роли ЛППР и консультанта*

*Моральные критерии оценки вариантов решений*

*Учебное издание*

**Ларичев Олег Иванович**

**ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ,  
А ТАКЖЕ ХРОНИКА СОБЫТИЙ В ВОЛШЕБНЫХ СТРАНАХ**

*Учебник*

**Редактор Н.Г. Давыдова. Оформление Е. Молчанова, С. Носова  
Корректор Т.Г. Тертышная. Компьютерная верстка Т.Н. Лебедевой**

ЛР № 071045 от 09.06.99

Подписано в печать 26.01.00. Гарнитура School  
Формат 60х90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная  
Печ. л. 18,5. Уч.-изд. л. 15,7. Тираж 5000 экз. Заказ 374

**Издательская корпорация «Логос»**

105318, Москва, Измайловское ш., 4  
Отпечатано в ГУП ИПК «Ульяновский Дом печати»  
432601, Ульяновск, ул. Гончарова, 14

**По вопросам приобретения литературы  
следует обращаться по адресу:**

**105318, Москва, Измайловское шоссе, 4**

**Тел./факс: (095) 369-56-58, 369-77-27**

**Электронная почта: [universitas@cnt.ru](mailto:universitas@cnt.ru)**