

А.И. Орлов

МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Рекомендовано
Экспертным советом УМО в системе ВО и СПО
в качестве **учебника** для направления бакалавриата
«Менеджмент»

BOOK.ru

ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА

КНОРУС • МОСКВА • 2018

УДК 65.0((075.8)
ББК 65.291.21я73
О-66

ОГЛАВЛЕНИЕ

Орлов, Александр Иванович.
О-66 Методы принятия управленческих решений : учебник / А.И. Орлов. —
Москва : КНОРУС, 2018. — 286 с. — (Бакалавриат).

ISBN 978-5-406-06430-6

Представлены методы разработки управленческих решений. Рассмотрены основы теории принятия решений, технология и процедуры разработки и принятия управленческих решений. Разобраны оптимизационные и вероятностно-статистические методы принятия решений. Проанализированы методы построения интегральных показателей (рейтингов). Приводятся методы принятия решений как традиционные, так и недавно разработанные, даются примеры их применения для решения практических задач.

Соответствует ФГОС ВО последнего поколения.

Для студентов и преподавателей вузов, научных и практических работников, связанных с принятием решений на основе анализа экономических и управленческих данных.

УДК 65.0(075.8)
ББК 65.291.21я73

Орлов Александр Иванович
МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Изд. № 8297. Подписано в печать 13.02.2018. Формат 60×90/16.

Гарнитура «Newton». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 500 экз.

ООО «Издательство «КноРус».

117218, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.

Тел.: 8-495-741-46-28.

E-mail: office@knorus.ru http://www.knorus.ru

Отпечатано в АО «Т8 Издательские Технологии».

109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

Тел.: 8-495-221-89-80.

ISBN 978-5-406-06430-6

© Орлов А.И., 2018

© ООО «Издательство «КноРус», 2018

| | |
|---|-----------|
| Предисловие..... | 6 |
| Введение | 10 |
| Глава 1. О РАЗРАБОТКЕ И ПРИНЯТИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ | 13 |
| 1.1. Принятие решений — работа менеджера. Основные понятия и процедуры принятия решений | 13 |
| 1.2. О сравнении подходов к принятию решений | 14 |
| 1.3. Подводные камни голосования | 21 |
| 1.4. Методология принятия решений | 25 |
| 1.5. Ответственность менеджера | 31 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 35 |
| Темы докладов и рефератов | 37 |
| Глава 2. ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ | 38 |
| 2.1. Индивидуальные и коллективные экспертные оценки..... | 38 |
| 2.2. Оценка и выбор вариантов с помощью экспертов | 44 |
| 2.3. Экспертное прогнозирование..... | 48 |
| 2.4. Экспертные оценки на современном этапе..... | 53 |
| 2.5. Основные стадии экспертного опроса..... | 55 |
| 2.6. Подбор экспертов | 58 |
| 2.7. О выборе цели экспертизы..... | 62 |
| 2.8. Основания для классификации экспертных методов | 67 |
| 2.9. Интуиция эксперта и компьютер..... | 71 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 76 |
| Темы докладов, рефератов, исследовательских работ..... | 77 |
| ГЛАВА 3. МЕТОДЫ СРЕДНИХ РАНГОВ | 79 |
| 3.1. Экспертные ранжировки..... | 79 |
| 3.2. Методы средних арифметических и медиан рангов | 82 |
| 3.3. Метод согласования кластеризованных ранжировок | 84 |
| 3.4. Пример анализа экспертных упорядочений | 91 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 93 |
| Темы докладов, рефератов, исследовательских работ..... | 94 |
| Глава 4. ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ | 96 |
| 4.1. Основные шкалы измерения..... | 96 |
| 4.2. Инвариантные алгоритмы и средние величины | 106 |
| 4.3. Средние величины в порядковой шкале | 110 |

| | | | |
|--|------------|---|------------|
| 4.4. Средние по Колмогорову..... | 112 | 8.9. Двухуровневая модель управления запасами | 265 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 114 | 8.10. Модель планирования размеров поставок на базу (склад) | 267 |
| Темы докладов, рефератов, исследовательских работ..... | 116 | Контрольные вопросы и задания..... | 270 |
| Глава 5. ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (РЕЙТИНГА) | 117 | Темы докладов и рефератов | 271 |
| 5.1. Оперативные методы принятия решений на основе экспертных оценок..... | 117 | Заключение | 272 |
| 5.2. Веса факторов..... | 128 | Список литературы | 275 |
| 5.3. Бинарные рейтинги | 138 | Сведения об авторе | 283 |
| 5.4. Сравнение рейтингов и линейные рейтинги | 145 | | |
| Контрольные вопросы и задания | 152 | | |
| Темы докладов, рефератов, исследовательских работ..... | 155 | | |
| Глава 6. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА..... | 156 | | |
| 6.1. Бизнес-процессы инновационных проектов | 156 | | |
| 6.2. Инновационные проекты в вузах | 170 | | |
| 6.3. Модель инновационного проекта | 172 | | |
| 6.4. Прогнозирование рисков..... | 179 | | |
| 6.5. Различные виды рисков | 187 | | |
| 6.6. Управление рисками | 192 | | |
| Контрольные вопросы и задания..... | 202 | | |
| Темы докладов, рефератов, исследовательских работ..... | 205 | | |
| Глава 7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК..... | 206 | | |
| 7.1. Основные математические задачи анализа экспертных оценок | 206 | | |
| 7.2. Экспертные мнения и расстояния между ними | 213 | | |
| 7.3. Аксиоматическое введение расстояний | 218 | | |
| 7.4. Свойства медианы Кемени | 228 | | |
| 7.5. Коэффициенты корреляции и конкордации | 230 | | |
| Контрольные вопросы и задания..... | 237 | | |
| Темы докладов, рефератов, исследовательских работ..... | 239 | | |
| Глава 8. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ..... | 240 | | |
| 8.1. Организационно-экономические модели – инструмент получения управленческих решений..... | 240 | | |
| 8.2. Классическая модель управления запасами..... | 242 | | |
| 8.3. Решение задачи оптимизации..... | 244 | | |
| 8.4. Асимптотически оптимальный план | 250 | | |
| 8.5. Влияние отклонений от оптимального объема партии | 254 | | |
| 8.6. Модель с дефицитом..... | 258 | | |
| 8.7. Система моделей на основе модели Вильсона..... | 261 | | |
| 8.8. О практическом применении классической модели управления запасами..... | 264 | | |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решения принимают все — инженеры, менеджеры, экономисты, домохозяйки и космонавты. Принятие решений — основа любого управления. Поэтому знакомство с современной теорией принятия решений необходимо всем, связанным с системами управления. А управляет каждый из нас — хотя бы самим собой.

Исходные положения. При подготовке учебника у автора было два стимула.

Во-первых, сделать доступным широкой массе читателей почти полувековой опыт нашего междисциплинарного научного коллектива, в рамках которого создана отечественная научная школа в области современной теории принятия решений и экспертных оценок, а также эконометрики. Наш подход оказался полезным для исследователей. Это следует из того, что автор учебника — один из самых цитируемых ученых России. По данным Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) — самый цитируемый математик среди живущих. Входит в TOP-10 РИНЦ по цитируемости по направлению «Экономика. Экономические науки».

Во-вторых, подготовить учебник по теории принятия решений для обеспечения различных видов образовательных услуг. После сравнения различных подходов к преподаванию, многочисленных вариантов организации обучения автор решил взять за исходный пункт курс «Теория принятия решений» российско-французской программы МАСТЕР («Менеджмент промышленных систем»). Она с 1995 года реализовывалась научно-учебным комплексом «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана совместно с Высшими техническими школами Парижа и Лиона.

Итак, учебник опирается на научные разработки последних лет и практику преподавания в России и во Франции, с учетом достижений специалистов других стран.

В 2006 году учебник А.И. Орлова «Теория принятия решений» выпущен издательством «Экзамен», а годом ранее — в 2005 г. — появился его существенно сокращенный вариант — учебное пособие «Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений» (издательский центр «МарТ»).

Развитие научно-технического прогресса ставит перед инженерами, управленцами и экономистами новые задачи. В соответствии с потребностями практики в 2005 г. введена новая учебная специальность 220701 «Менеджмент высоких технологий», относящаяся к тогда же введенному направлению подготовки 220700 «Организация и управление наукоемкими производствами», предназначенному для обеспечения инженерами-менеджерами высокотехнологичных предприятий оборонно-промышленного комплекса. Для новой специальности понадобилась разработка нового научно-методического обеспечения, в том числе новых учебных дисциплин и соответствующих учебников (в частности, по организационно-экономическому моделированию), основанных на последних научно-технических разработках, подкрепленных практическим опытом. Так, сформирован блок учебных дисциплин «Организационно-экономическое моделирование», в который включены интеллектуальные инструменты современного менеджмента высоких технологий.

Организационно-экономическое моделирование — научная, практическая и учебная дисциплина, посвященная разработке, изучению и применению математических и статистических методов и моделей в экономике и управлении народным хозяйством, прежде всего промышленными предприятиями и их объединениями. Ее существенная часть — теория принятия решений.

Понадобился новый учебник. Он был выпущен издательством «КНОРУС» в 2011 г. под названием «Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений».

Перечисленные ранее обладали одним общим свойством. Они содержали много научного материала, но не были привязаны к конкретному учебному процессу. Очевидно, в таком подходе были и плюсы, и минусы. Настоящий учебник полностью соответствует курсу «Методы принятия управленческих решений», который автор много лет читает на факультете (в научно-учебном комплексе) «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках направления бакалавриата «Менеджмент».

Для кого эта книга? Учебник соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего образования для направления 38.03.02 «Менеджмент» подготовки бакалавра. Кроме указанной целевой аудитории учебник может быть использован различными категориями читателей. Особенно хочется порекомендовать его тем, кто получает наиболее ценное в настоящее время образование — на экономических факультетах в технических вузах. Слушатели вечерних отделений, в том числе получающие второе образование по

экономике и менеджменту, смогут изучить основы теории принятия решений и познакомиться с вопросами ее практического использования. Менеджерам, экономистам и инженерам, изучающим теорию принятия решений самостоятельно или в институтах повышения квалификации, учебник позволит познакомиться с ее ключевыми идеями и выйти на современный уровень.

Включенные в учебник материалы оказались полезными не только студентам дневных и вечерних факультетов и слушателям системы второго высшего образования, но и тем, кто обучается по программам переподготовки, «Мастер (магистр) делового администрирования» (МВА) и иным, в том числе международным. Специалистам по теории принятия решений, экспертным оценкам, теории управления, теории вероятностей и математической статистике эта книга также может быть интересна и полезна. В ней описан современный взгляд на рассматриваемую тематику, ее основные подходы и результаты, открывающие большой простор для дальнейших математических исследований.

В отличие от учебной литературы по математическим дисциплинам, в настоящей книге практически полностью отсутствуют доказательства. Однако в нескольких случаях мы сочли целесообразным их привести. При первом чтении доказательства теорем можно пропустить.

К каждой главе прилагаются контрольные вопросы и задания, примерные темы докладов, рефератов, исследовательских работ. Список цитированной литературы приведен в конце.

О роли литературных ссылок в учебнике необходимо сказать подробнее. Книга представляет собой замкнутый текст, не требующий для своего понимания ничего, кроме знания стандартных учебных курсов высшей математики и основ экономической теории. Зачем же нужны ссылки? Доказательства всех приведенных в учебнике теорем приведены в ранее опубликованных статьях и монографиях. Дотошный читатель при подготовке рефератов и при желании глубже проникнуть в материал книги может обратиться к списку цитированной литературы. Каждая из глав учебника — это только введение в большую область теории принятия решений и организационно-экономического моделирования, и вполне естественным является желание выйти за пределы введения. Приведенная литература может этому помочь. За многие десятилетия накопились большие книжные богатства, их надо активно использовать.

Включенные в учебник материалы прошли многолетнюю и всестороннюю проверку. Кроме МГТУ им. Н.Э. Баумана они использо-

вались при преподавании во многих других отечественных и зарубежных образовательных структурах. О некоторых из них можно получить представление из справки «Об авторе» в конце книги.

Благодарности. Автор благодарен своим многочисленным коллегам, слушателям и студентам, прежде всего различных образовательных структур Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и Московского физико-технического института, а также соавторам по научным исследованиям из Группы компаний «Волга-Днепр» и Космического научного центра ЦНИИМАШ. Некоторые полученные в ходе совместной работы научные результаты отражены в учебном курсе и настоящем учебнике.

Автор благодарен сотрудникам издательства «КНОРУС» за поддержку нашего научного направления и большую работу по подготовке рукописи к изданию.

С текущей научной информацией по организационно-экономическому моделированию и теории принятия решений можно познакомиться на сайте автора <http://orlovs.pp.ru> (и его версиях www.antorlov.nm.ru, www.antorlov.chat.ru, www.newtech.ru/~orlov, www.antorlov.euro.ru), его форуме <http://forum.orlovs.pp.ru/>, а также на странице Лаборатории экономико-математических методов в контроллинге <http://www.ibm.bmstu.ru/nil/lab.html> (на сайте научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана).

Большой объем информации по современным научным исследованиям по тематике учебника содержит электронный еженедельник «Эконометрика» (<http://subscribe.ru/catalog/science.humanity.econometrika>), выпускаемый с июля 2000 г. Автор искренне благодарен разработчику сайтов и редактору электронного еженедельника А.А. Орлову за многолетний энтузиазм.

В книге раскрыто представление о теории принятия решений, соответствующее общепринятому в мире. Сделана попытка довести рассказ до современного уровня научных исследований в этой области. Конечно, возможны различные точки зрения по тем или иным частным вопросам. Автор будет благодарен читателям, если они сообщат свои вопросы и замечания по адресу издательства или непосредственно автору на форуме сайта <http://orlovs.pp.ru> или по электронной почте: prof-orlov@mail.ru.

09.08.2017

ВВЕДЕНИЕ

Методы принятия управленческих решений — большая и разветвленная научная, практическая и управленческая дисциплина. Знакомство с ней разворачивается по мере движения от главы к главе. Во введении кратко обсуждается содержание книги.

Первая глава — введение в теорию и практику разработки и принятия управленческих решений. Показаны основные этапы разработки и принятия управленческих решений. На примере типовой задачи о запуске в серию того или иного типа автомобиля показаны возникающие проблемы. Рассмотрены четыре аналитических и три практических метода принятия решений. Поскольку рекомендации противоречивы, решение принимается голосованием. Это — один из методов экспертных оценок. Обсуждены свойства процедур голосования. Введены основные понятия теории принятия решений: лица, принимающие решения (ЛПР), порядок подготовки решения (регламент), цели и ресурсы, риски и неопределенности, критерии оценки решения. Обсуждаем методологию принятия решений и ответственность менеджера.

Экспертные оценки — один из основных видов инструментов при разработке, принятии и реализации управленческих решений. Примеры процедур экспертных оценок даны во второй главе. Значительное внимание уделено методам и технологиям сбора и анализа мнений экспертов, применению экспертных оценок. Рассмотрены индивидуальные и коллективные экспертные оценки, методы оценки и выбора вариантов с помощью экспертов, процедуры экспертного прогнозирования, место экспертных оценок в теории и практике принятия решений на современном этапе. Дано представление об организационной стороне работы экспертной комиссии. Обсуждаются основные стадии экспертного опроса, в том числе выбор цели экспертизы и подбор экспертов. Выделены основания для классификации экспертных методов. Роль интуиции эксперта сопоставлена с использованием информационных технологий. Экспертные технологии пока недостаточно представлены в литературе, поэтому мы вынуждены уделить им большое внимание.

Важные конкретные процедуры экспертного оценивания разобраны в третьей главе. Для нахождения коллективного мнения по экспертным ранжировкам предложены методы средних арифметических

рангов и медиан рангов, а также процедура согласования кластеризованных ранжировок.

Теория измерений и ее применение для обоснования экспертных процедур — предмет четвертой главы. Введены основные шкалы измерения (наименований, порядка, интервалов, отношений, разностей, абсолютная). Поставлена задача поиска инвариантных алгоритмов. В качестве примера разобраны методы усреднения. Дан анализ различных видов средних, введены средние по Коши и средние по Колмогорову. Установлено, какими средними величинами следует пользоваться при анализе данных, измеренных в порядковой шкале (из средних по Коши), шкалах интервалов и отношений (из средних по Колмогорову).

Построению рейтингов (обобщенных показателей) посвящена пятая глава. В начале главы рассмотрены широко применяющиеся простые методы принятия решений. Разобраны подходы в стратегическом менеджменте, оперативные приемы, способы декомпозиции задач принятия решения. В качестве основной модели для дальнейшего обсуждения выбраны бинарные рейтинги, тесно связанные с теорией классификации (диагностики, дискриминации, распознавания образов). В задачах сравнения рейтингов основное внимание уделено линейным рейтингам. Обосновано применение прогностической силы как показателя качества алгоритма диагностики, построена асимптотическая теория для этого показателя и разработаны методы проверки обоснованности пересчета на модель линейного дискриминантного анализа.

В шестой главе в качестве примера разработки процедур принятия управленческих решений в условиях неопределенности и риска на основе использования вероятностно-статистических и экспертных методов оценки риска в конкретной прикладной задаче рассмотрим подход к оценке рисков для малых предприятий. Он описан на примере выполнения инновационных проектов в вузах. Рассмотрены бизнес-процессы инновационных проектов, инновационные проекты в вузах, модель инновационного проекта, методы прогнозирования рисков, многообразие рисков и задач управления рисками. Разработана аддитивно-мультипликативная модель оценки инновационных рисков и рисков проектов.

Седьмая глава посвящена основным математическим задачам анализа экспертных оценок. На основе систем аксиом введены расстояния между экспертными мнениями. Мнение экспертной комиссии предложено определять с помощью медианы Кемени. Коэффициенты корреляции и конкордации рассмотрены в связи с проверкой согласованности мнений экспертов.

Организационно-экономические модели — инструмент получения управленческих решений. С целью достаточно подробно продемонстрировать особенности принятия решений на их основе в главе 8 рассмотрена классическая модель управления запасами. Решена задача оптимизации. Введено понятие асимптотически оптимального плана и такой план найден. Изучено влияние отклонений от оптимального объема партии. Рассмотрена модель с дефицитом, как ее развитие — система моделей на основе модели Вильсона. Рассказано о практическом применении классической модели управления запасами. Кратко рассмотрены еще две логистические модели — двухуровневая модель управления запасами и модель планирования размеров поставок на базу (склад).

В заключении кратко обсуждаем перспективные направления теории и практики разработки, принятия и реализации управленческих решений.

Заинтересовавшимся читателям может быть интересна и полезна информация в заключительном разделе «Сведения об авторе» — о профессиональном пути автора настоящего учебника и его многочисленных книгах.

Глава 1

О РАЗРАБОТКЕ И ПРИНЯТИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

1.1. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ — РАБОТА МЕНЕДЖЕРА. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРОЦЕДУРЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Принятие решений = это суть работы менеджера. Как правило, оно осуществляется по определенным технологиям.

Рассмотрим общую схему процесса производства и реализации управленческих решений на примере Группы компаний ВД. Согласно внутренним нормативным документам выделено шесть ключевых этапов:

- 1) фиксация проблем (возможностей);
- 2) подготовка управленческого решения;
- 3) принятие управленческого решения;
- 4) реализация управленческого решения;
- 5) контроль реализации управленческого решения;
- 6) предоставление обратной связи.

Шестой этап может перейти снова в первый — на новом цикле производства и реализации управленческих решений.

Каждый из шести этапов требует своей технологии управления. В соответствующих нормативных документах зафиксированы используемые управленческие процедуры, типовые результаты этапа, указаны возможные участники этапа, руководители, ответственные за его выполнение, сроки выполнения этапа и т.п.

Глава 1 посвящена обсуждению современных взглядов на принятие управленческих решений. Мы выпустили несколько объемных учебников по теории принятия решений. В настоящей главе обсуждаются несколько узловых моментов этой теории: сравнение подходов к принятию решений, подводные камни голосования, методология принятия решений, ответственность менеджера. Рассмотрен упрощенный пример задачи принятия решений при управлении организацией: какой образец нового автомобиля запускать в серию? Критерии

принятия решения, выдвинутые четырьмя экспертами-теоретиками, противоречили друг другу. Совет директоров решил вопрос голосованием. Рассмотрены «подводные камни» голосования.

В деятельности по производству и реализации управленческих решений выделяется четыре уровня. Первый и наиболее важный уровень, определяющий успех или неудачу управленческой деятельности, — методологический. Обсуждаются уровни производства и реализации управленческих решений. Приведены примеры, когда методологические ошибки приводят к ошибочным управленческим решениям. Так, призыв «Максимум прибыли при минимуме затрат» довольно часто встречается в выступлениях и распоряжениях общего характера. Однако он является ошибочным. Практика разработки, принятия и реализации решений основана на нескольких основных понятиях. Вот их перечень:

- Кто принимает решения?
- Порядок подготовки решения (регламент).
- Цели.
- Ресурсы.
- Риски и неопределенности.
- Критерии оценки решения.

Никто не может снять с менеджера ответственность за принимаемые решения. Воля менеджера — основа управления.

1.2. О СРАВНЕНИИ ПОДХОДОВ К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ

Решения принимают все — инженеры, менеджеры, экономисты, домохозяйки и космонавты. Принятие решений — основа любого управления. Поэтому знакомство с современной теорией принятия решений необходимо всем, связанным с системами управления. А управляет каждый из нас — хотя бы самим собой.

Больше всего нужно знакомство с современной теорией принятия решений профессиональным управленцам — руководителям организаций и их подразделений, которых сейчас обычно называют менеджерами (от англ. manager — правитель, управляющий), а также преподавателям, готовящим будущих управленцев.

Глава посвящена обсуждению современных взглядов на принятие управленческих решений. Мы выпустили несколько объемных учебников по теории принятия решений [71, 77, 88]. Здесь разберем несколько узловых моментов этой теории: сравнение подходов к приня-

тию решений, подводные камни голосования, методология принятия решений, ответственность менеджера.

Обсудим упрощенный пример задачи принятия решений при управлении организацией.

Совет директоров фирмы «Русские автомобили» должен принять важное решение. Какой образец нового автомобиля запускать в серию — маленького верткого «Алешу» или представительного «Добрыню»? Отличаются эти типы автомобилей прежде всего расходом бензина на 100 км пробега: «Добрыня» длиннее, шире, выше, тяжелее, а потому и бензина ему надо больше, чем «Алеше». Зато «Добрыня» гораздо солиднее и вместительнее. Как показывают маркетинговые исследования, при дешевом бензине потребители предпочтут «Добрыню», при дорогом — «Алешу». Будущая цена бензина неизвестна, это фактор риска для фирмы «Русские автомобили».

Итак, каждый из двух вариантов решения имеет плюсы и минусы. Для принятия решения явно не хватает следующей количественной информации:

- насколько вероятна к моменту выхода продукции на рынок низкая цена бензина и насколько — высокая;
- каковы будут финансовые результаты работы фирмы при различных сочетаниях цены бензина и типа выпускаемого автомобиля (а таких сочетаний четыре: низкая цена бензина и выпуск «Алешки», низкая цена бензина и выпуск «Добрыни», высокая цена бензина и выпуск «Алешки», высокая цена бензина и выпуск «Добрыни»).

На эти вопросы генеральный директор фирмы заранее поручил ответить соответствующим специалистам. Перед началом заседания члены совета директоров получают нужные для принятия решения количественные данные, сведенные в табл. 1.1. В частности, за то, что цена бензина окажется низкой, есть 60 шансов из 100, то есть 60%. А за то, что она окажется высокой, — 40 шансов из 100.

Таблица 1.1

**Прибыль при выпуске автомобилей двух типов
(млрд руб.)**

| Цена бензина | Тип «Алеша» | Тип «Добрыня» |
|---------------|-------------|---------------|
| Низкая (60%) | 750 | 1 000 |
| Высокая (40%) | 500 | 200 |

Дискуссия на совете директоров. На заседании совета директоров была проведена дискуссия. Сначала выступили четыре высококвали-

фицированных эксперта, каждый из которых использовал свою экономико-математическую модель.

— Полагаю, надо получить максимум в самом плохом случае, — сказал осторожный Воробьев. — А хуже всего будет при высокой цене бензина — прибыль фирмы по сравнению со случаем низкой его цены уменьшается при любом нашем решении. Выпуская «Алешу», заработаем 500 миллионов, а «Добрыню» — 200 миллионов. Значит, надо выпускать «Алешу» — и как минимум 500 миллионов нам обеспечены.

— Нельзя быть таким пессимистом, — заявил горячий Лебедев. — Скорее всего, цена бензина будет низкой (за это — 60 шансов из 100, то есть больше половины), а высокой — лишь как исключение. Надо быть оптимистами — исходить из того, что все пойдет так, как мы хотим, цена бензина будет низкой. Тогда, выпуская «Добрыню», получим миллиардную прибыль.

— На мой взгляд, и пессимист Воробьев, и оптимист Лебедев обсуждают крайние случаи — самую худшую ситуацию и самую лучшую. А надо подходить системно, обсудить ситуацию со всех сторон, учесть обе возможности, — начал свое выступление обстоятельный Чибисов, когда-то изучавший теорию вероятностей. — Давайте рассчитаем среднюю прибыль. Рассмотрим сначала первый вариант — выпуск «Алешки». Мы получим 750 миллионов в 60% случаев (при низкой цене бензина) и 500 миллионов в 40% случаев (при высокой его цене), значит, в среднем $750 \cdot 0,6 + 500 \cdot 0,4 = 450 + 200 = 650$ миллионов. А для варианта «Добрыни» аналогичный расчет дает $1000 \cdot 0,6 + 200 \cdot 0,4 = 600 + 80 = 680$ миллионов, то есть больше. Значит надо выпускать «Добрыню».

— Предыдущий оратор рассуждает так, как будто мы будем выбирать тип автомобиля на каждом заседании совета директоров, да и все данные в таблице 1 лет сто не изменятся, — вступил в дискуссию реалист Куликов. — Но нам предстоит принять решение только один раз, и сделать это надо так, чтобы потом не жалеть об упущенных возможностях. Если мы решим выпускать «Добрыню», а к моменту выхода на рынок цена бензина окажется высокой, то получим 200 миллионов вместо 500 миллионов при решении, соответствующем будущей высокой цене бензина. Если же цена бензина будет низкой — мы прибыль не упускаем. Значит, максимально возможная упущенная выгода составит $500 - 200 = 300$ миллионов. При выпуске «Алешки» в случае низкой цены бензина упущенная выгода составит $1000 - 750 = 250$ миллионов, а при высокой цене бензина мы прибыль не упускаем. Значит, при выпуске «Алешки» максимально возможная упущенная выгода равна 250 миллионам, то есть будет меньше, чем

если мы решим выпускать «Добрыню». Значит, надо выпускать «Алешу», если мы хотим минимизировать максимально возможную упущенную выгоду.

После экспертов захотели высказаться трое членов совета директоров. Финансовый директор Волков потребовал:

— Любой проект, который совет утвердит, должен давать не менее 400 миллионов. Иначе у нас будут трудности в работе с кредитами. Значит, «Добрыня» не годится. Надо выпускать «Алешу».

С других позиций выступил директор по развитию Вепрев:

— Наша фирма должна развиваться устойчиво. Мы должны иметь надежный прогноз. Чем меньше разброс результатов у проекта, тем лучше. У «Алешки» разброс $750 - 500 = 250$ (млн руб.), а у «Добрыни» $1000 - 200 = 800$ (млн руб.). Я за «Алешу».

У директора по маркетингу Лисицына иное мнение.

— Нельзя добиться успеха без риска. Как говорят, кто не рискует, тот не пьет шампанское! Как пишут в западных учебниках, предприниматель и менеджер должны рисковать! Лучше журавль в небе, чем синица в руках. Зачем нам синица? Мечта и победа — вот наш путь. Я — за «Добрыню»!

— Подведем итоги, — сказал председательствующий Медведев-Пчелкин. — Выступили четверо экспертов, каждый привел убедительные доводы в пользу того или иного решения, каждый исходил из той или иной теоретической концепции. При этом за выпуск «Алешки» выступили двое — Воробьев и Куликов, а за выпуск «Добрыни» также двое — Лебедев и Чибисов. Мнения выступивших практиков — членов совета директоров — также разделились — осторожные Волков и Вепрев против игрока Лисицына. Решение надо принять сегодня, иначе понесем большие убытки. Будем голосовать.

Результаты голосования — 15 членов совета директоров за выпуск «Добрыни», 8 (в основном более осторожные представители старшего поколения) — за выпуск «Алешки». Большинством голосов решение принято — фирма «Русские автомобили» будет выпускать «Добрыню».

Какие выводы может извлечь менеджер из стенограммы хода заседания совета директоров фирмы «Русские автомобили»? Критерии принятия решения, выдвинутые четырьмя выступавшими экспертами-теоретиками, противоречили друг другу, два из них приводили к выводу о выгодности выпуска автомобиля «Алеша», а два — «Добрыня». У троих практиков тоже не было единства. И совет директоров решил вопрос голосованием. При этом каждый из голосовавших интуитивно оценивал достоинства и недостатки вариантов, то есть выступал как эксперт, а весь совет в целом — как экспертная

комиссия. Рассмотренный пример наглядно демонстрирует, что экспертные оценки — один из универсальных методов принятия решений [73].

Из каких экономико-математических моделей исходили эксперты?

Обсудим исходные позиции четырех экспертов-теоретиков. У каждого из них — свой подход, у которого есть и достоинства, и недостатки.

Пессимистическая позиция Воробьева основывается на вполне естественном предположении, что внешние силы действуют против нас, в частности хотят нанести нам ущерб, поднимая цены на бензин. Так бывает, когда мы ведем борьбу с непримиримым противником. Когда наш успех означает такой же по величине проигрыш противника, а полученный нами ущерб — такой же по величине выигрыш противника. Одна из наиболее известных экономико-математических концепций — теория антагонистических игр — исходит из таких соображений. Эта концепция хорошо приспособлена для моделирования хода войны, поскольку в ходе боевых действий победа одной армии — это поражение армии противника. Хотя в современной теории игр рассматриваются возможности коалиций и сотрудничества, исходной точкой продолжает служить представление об антагонистических интересах игроков, как в шахматной партии.

Критика позиции пессимиста Воробьева может исходить из того, что внешний мир отнюдь не стремится нанести нам ущерб. Ясно, что для тех сил, взаимодействие которых определяет цены на нефть и бензин, фирма «Русские автомобили» не является противником. Они ее попросту не замечают, поскольку по сравнению с ними фирма «Русские автомобили» слишком мала. Разумнее считать, что будущие цены на бензин определяют силы, которые можно сравнить с природными, с такими, от которых зависит будущая погода. С этой точки зрения позиция оптимиста Лебедева более обоснована, чем позиция пессимиста Воробьева, поскольку низкая цена бензина ожидается в 1,5 раза чаще, чем высокая.

Именно такие оптимисты, как Лебедев, занимаются прикладной научной фантастикой, разрабатывая инвестиционные проекты и составляя бизнес-планы. Они считают, что удастся реализовать намеченное в заданные сроки и с заданными затратами. Правда, в конце современных бизнес-планов обычно имеется раздел, посвященный анализу рисков и управлению ими, однако исходной точкой продолжает служить представление о том, что оптимистический взгляд на будущее оправдан, а возникающие препятствия удастся преодолеть, не меняя общего плана действий. Они состав-

ляют модель будущего и на основе своей конструкции разрабатывают план развития.

Позиции пессимиста и оптимиста описывают крайние точки возможного будущего. На поиск компромисса между этими позициями нацелены многие экономико-математические модели. В соответствии с данными приведенной выше таблицы при выборе «Алеши» фирма получит от 500 до 750 миллионов руб. прибыли, а при выборе «Добрыни» — от 200 до 1 000 миллионов. При принятии решений можно исходить из среднего арифметического граничных значений. Тогда выбору «Алеши» соответствует среднее значение $(500 + 750)/2 = 625$, а выбору «Добрыни» — среднее значение $(200 + 1000)/2 = 600$. Значит, по этому критерию надо запускать в серию «Алешу».

Очевиден произвол в усреднении минимального и максимального значений. Почему среднее арифметическое, а не среднее геометрическое? Почему минимальное и максимальное значения берутся с равными весами? Обобщая, получаем семейство методов, задаваемых параметром $\alpha \in [0; 1]$. Пусть минимальное значение берется с весом α , а максимальное — с весом $(1 - \alpha)$. Тогда выбору «Алеши» соответствует средневзвешенное значение $500\alpha + 750(1 - \alpha)$, а выбору «Добрыни» — среднее значение $200\alpha + 1000(1 - \alpha)$. Сравнивая эти два значения, заключаем, что при $\alpha < 5/11$ выгоднее запустить в серию «Добрыню», а при $\alpha > 5/11$ — «Алешу». Итак, решение определяется выбором параметра α . Как же в практической ситуации задать значение этого параметра?

Чибисов предлагает исходить из шансов осуществления того или иного прогноза цены бензина. Субъективная (то есть оцененная экспертами) вероятность того, что цена бензина будет высокой, равна 0,4. Соответственно субъективная вероятность того, что цена бензина будет низкой, есть $1 - 0,4 = 0,6$. Значит, целесообразно положить $\alpha = 0,4$.

За Чибисовым стоит огромное число теоретических и практических работ по теории вероятностей и математической статистике. Однако и к рассуждениям Чибисова надо подойти критически. Хорошо известно, что субъективные вероятности могут быть далеки от объективных, соответствующих осуществлению большого числа испытаний в одних и тех же условиях. К тому же большого числа испытаний в рассматриваемой ситуации нет и быть не может — выбор проводится только один раз.

Подход Куликова довольно часто рекомендуется во вводных курсах экономической теории. В этом его положительная сторона — в опоре на популярную теоретическую концепцию. Однако «упущен-

ная выгода» — это условная величина, а не «живые» деньги. В отличие от прибыли или выручки от реализации, отражающихся на банковских счетах предприятия, невозможно непосредственно использовать «упущенную выгоду» для решения конкретных задач управления финансово-хозяйственной деятельностью предприятия. Неясно поэтому, имеет ли смысл принимать конкретные решения на основе чисто расчетной «упущенной выгоды».

Выступавшие вслед за теоретиками три члена совета директоров достаточно подробно обосновали свои выводы практическими соображениями, в том числе психологическими.

Итак, выступавшие разошлись во мнениях. Как быть? Решение должно быть принято без промедления, иначе — большие убытки.

Два пути — приказ начальника или голосование. Практика показывает, что есть два основных варианта принятия решений в подобных ситуациях.

Первый — решение принимает начальник, в данном случае — председатель совета директоров. Подводя итоги дискуссии, он оценивает высказанные участниками обсуждения аргументы и выносит итоговый вердикт. В теории принятия решений есть понятие — «Лицо, Принимающее Решение», по первым буквам — ЛПР (в некоторых организациях его называют РПР — Руководитель, Принимающий Решение). Какова же роль остальных участников дискуссии? Совещательная — они высказывают соображения, можно сказать, дают советы, которые ЛПР может принять, а может и отклонить. В ходе дискуссии — все на равных, но решение формулирует один, он и несет ответственность за него.

Может показаться, что и обсуждение не нужно: все равно будет так, как решит начальник. Но это не так. Начальнику нужно знать ситуацию, знать мнения сотрудников. Во время заседания он помимо конкретной задачи — выбора марки автомобиля — решает и другие: оценивает и учит сотрудников, создает команду, то есть свой основной инструмент управления.

Второй вариант — голосование. У каждого участника — один голос. Иногда так требуется по действующему регламенту (например, регламенту заседания Совета по защите диссертаций). Но иногда и ЛПР, прежде чем принять решение, проводит голосование а затем использует его результаты. «Высший пилотаж» состоит в том, чтобы, ведя заседание, задавая вопросы, подавая реплики, к моменту голосования подвести участников заседания к нужному ему решению, а затем выступить выразителем воли большинства. Это сплачивает команду, обеспечивает ее дальнейшее слаженное действие.

1.3. ПОДВОДНЫЕ КАМНИ ГОЛОСОВАНИЯ

Может показаться, что голосование — это универсальный инструмент для принятия решений. Однако это не так. Есть много «подводных камней».

Решающая роль регламента. Многое зависит от регламента (то есть правил проведения) голосования. Например, традиционным является принятие решений по большинству голосов: принимается то из двух конкурирующих решений, за которое поданы по крайней мере 50% голосов и еще один голос. А вот от какого числа отсчитывать 50% — от присутствующих или от списочного состава? Каждый из вариантов имеет свои достоинства и недостатки.

Если от присутствующих — то одно из двух решений будет почти наверняка принято (исключение — когда голоса разделятся точно поровну). Однако те, кто не был на собрании, могут быть недовольны. И опротестовать решение. Очевидно, в ситуации, когда отсутствовали 90% от списочного состава, протест обоснован.

Если при принятии решения по большинству голосов исходить из списочного состава, то возникает проблема явки на заседание. При слабой явке решения присутствующими должны приниматься почти единогласно, следовательно, в ряде случаев ни одно из конкурирующих решений не будет принято. А если придет меньше 50% от утвержденного списочного состава, то принятие решений станет вообще невозможным.

Перечисленные сложности увеличиваются, если регламентом предусмотрено квалифицированное большинство — 2/3 и еще один голос. Например, согласно Федеральному закону от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» заключение комиссии государственной экологической экспертизы должно быть принято квалифицированным большинством от списочного состава. Представьте себе, какое дипломатическое искусство должен проявить председатель комиссии при подборе состава экспертов (согласно указанному Федеральному закону с этого начинается его деятельность) и ведении заседаний, чтобы в итоге получить почти единогласное голосование!

Иногда регламентом предусмотрено использование правила относительного большинства. В соответствии с ним из ряда вариантов решения принимается то, за которое проголосуют больше участников голосования, чем за другие варианты. Согласно методу относительного большинства могут быть приняты решения, поддержанные 10% или 5% тех, кто подал голос. Конечно, остальные голосовавшие, то есть подавляющее большинство, имеют основания относиться с со-

мнением к принятому решению. А вот у организатора голосования здесь большие возможности — можно специально выдвинуть большое число вариантов, чтобы распылить между ними голоса, приказав своей немногочисленной команде (скажем, 10% от голосовавших) голосовать за выбранный им вариант — и победить!

Воздержавшиеся — с кем они? Еще одна проблема — как быть с воздержавшимися? Причислять ли их к голосовавшим «за» или к голосовавшим «против»? Ответ зависит от того, как поставлен вопрос председателем собрания: «Кто за?» или «Кто против?». Рассмотрим условный пример — результат голосования по трем кандидатурам в совет директоров. В таблице 1.2 приведены мнения участников голосования.

Таблица 1.2

Мнения голосующих на выборах в совет директоров

| Кандидатура | За | Против | Нейтральное |
|--------------|-----|--------|-------------|
| Иванов И.И. | 200 | 100 | 100 |
| Петров П.П. | 150 | 50 | 200 |
| Сидоров С.С. | 0 | 0 | 400 |

Наиболее активным и результативным менеджером является И.И. Иванов. У него больше всего сторонников, но и больше всего противников. Его соперник П.П. Петров меньше себя проявил, у него меньше и сторонников, и противников. Третий — С.С. Сидоров — никому не известен, и относительно его кандидатуры мнение всех участников голосования — нейтральное.

Пусть надо выбрать одного человека в совет директоров. Каков будет результат? Ответ зависит от того, как председатель заседания поставит вопрос для голосования (выборы открытые, путем поднятия рук). Если он спрашивает: «Кто за Иванова?», «Кто за Петрова?», «Кто за Сидорова?», то проходит И.И. Иванов. Если же председатель, видя усталость зала от обсуждения предыдущих голосований и желая сократить работу счетчиков, спрашивает: «Кто против Иванова?» и т.п. (обоснование: чем меньше голосующих «против», тем большую поддержку имеет кандидат), то выбирают «темную лошадку» С.С. Сидорова, поскольку активные противники остальных менеджеров «выбирают» их из соревнования.

При выборе двух членов совета директоров вопрос председателя «Кто за?» приводит к выбору И.И. Иванова и П.П. Петрова, а вопрос: «Кто против?» — к выбору С.С. Сидорова и П.П. Петрова. Поэтому, желая избавиться от И.И. Иванова, председатель может при выборах

ставить вопрос так: «Кто против?». Подобное поведение председателя было замечено при выборах во ВНИИ стандартизации.

В чем причина различия результатов при двух способах голосования? Дело в том, что вопрос: «Кто за?» автоматически относит всех воздержавшихся к противникам данного кандидата, а вопрос «Кто против?» — к сторонникам. Успех никому не известного С.С. Сидорова связан именно с этим — он не нажил себе врагов.

В Государственной Думе РФ голос депутата, отсутствующего на заседании или воздерживающегося, фактически прибавляется к числу голосующих «против», поскольку для принятия законопроекта необходимо набрать не менее 226 голосов «за» из 450 (а при голосовании наиболее важных «конституционных» проектов — не менее 301). Все депутаты, которые не проголосовали «за», тем самым проголосовали «против» законопроекта. Три варианта — голосовать «против», воздержаться или не участвовать в голосовании — могут быть важны при работе с избирателями, но на судьбу законопроекта влияют одинаково (отрицательно).

Спрашивая: «Кто за?», фактически исходим из принципа «Кто не с нами, тот против нас». А спрашивая: «Кто против?», исходим из другого принципа: «Кто не против нас, тот с нами».

Последовательность голосований. Рассмотрим простейший регламент голосования — простым большинством голосов (от числа присутствующих) решают, принять или отклонить обсуждаемое решение. Тогда очевидно, что принятое решение улучшает ситуацию для большинства голосовавших, а ухудшить может лишь для меньшинства. (Примем для простоты, что деление на два равные по численности группы не встречается).

А каков будет результат нескольких последовательных голосований? Оказывается, возможна ситуация, при которой положение всех без исключения голосовавших ухудшается.

Рассмотрим условный пример. Пусть в голосованиях участвуют трое — Иванов, Петров и Сидоров. Пусть первым на голосование выносится такой проект решения: «Выделить Иванову и Петрову по 10 000 руб., а на Сидорова наложить штраф — 1 млн руб.». Иванову и Петрову такое решение выгодно — их положение улучшается. Поэтому они голосуют «за». Сидоров, естественно, голосует «против». Два против одного — решение принимается. Сидоров платит штраф, а Иванов и Петров получают по 10 000 руб.

Второе голосование проводится по проекту решения: «Иванову и Сидорову — по 10 000 руб., с Петрова — штраф в 1 млн руб.». «За» —

Иванов и Сидоров, «против» — Петров. Решение принято и выполнено. Петров присоединяется к Сидорову, тоже платит штраф.

Проект решения для третьего голосования таков: «Петрову и Сидорову — по 10 000 руб., на Иванова наложить штраф в 1 млн руб.». Два «за», один — «против». Решение принято.

Каков итог? Все трое платят штраф в 1 млн руб., но каждому из них выделено — по итогам двух из трех голосований — по 20 000 руб. Положение всех троих значительно ухудшилось — каждому надо уплатить $1\,000\,000 - 20\,000 = 980\,000$ руб..

Нечто подобное бывает и в реальных ситуациях. Во время Великой французской революции в результате серии последовательных голосований в высшем органе власти (Конвенте — высшем законодательном и исполнительном органе первой французской республики, действовавшем с 21.09.1792 по 26.10.1795) большинство депутатов отправилось на эшафот. Каждый раз Конвент делился на большинство и меньшинство, и большинство отправляло меньшинство на эшафот. Сначала так поступили с королем и сторонниками, потом — с жирондистами, затем пришел черед группе Дантона и наконец — левым якобинцам Робеспьеру, Сен-Жюсту, Кутону и др. В результате заметных вождей в Конвенте не осталось, и через несколько лет Наполеон покончил с республикой и стал императором.

Как добиться нужного решения с помощью голосования? Англичанин С.Н. Паркинсон подробно исследовал ряд отрицательных явлений, широко распространенных в организационных системах [103]. Любой менеджер должен знать «Законы Паркинсона», где бы он ни работал — в государственной организации или в частной фирме. Они помогут избежать многих ошибочных решений, распространенных в среде управленцев.

С типично английской иронией С.Н. Паркинсон обсуждает вопрос о том, как добиться принятия нужного менеджеру решения, например о выделении 100 млн фунтов стерлингов на некоторый проект. Пусть этот менеджер — председатель той комиссии, которая должна принять решение. Паркинсон советует поставить интересующий председателя вопрос примерно на 25-е место среди 30 вопросов, вынесенных на обсуждение на заседании, намеченном с 9 до 13 часов. А начать обсуждение с чего-либо малозначительного, например у какой фирмы секретарше комиссии покупать бумагу для принтера.

Что будет происходить? «Свеженькие» члены комиссии с интересом приступят к обсуждению и не более чем за полчаса досконально разберут достоинства и недостатки различных фирм, поставляющих канцелярские принадлежности. Каждый будет рад высказаться и про-

демонстрировать коллегам свои познания (при этом никто не подумает о том, что за время, потраченное на это обсуждение, члены комиссии получают суммарную оплату много большую, чем возможная экономия при покупке бумаги на 500 лет вперед).

Второй вопрос будет обсуждаться с несколько меньшим пылом. К десятому вопросу члены комиссии окончательно выдохнутся, многие из них перестанут следить за обсуждением, им будет лень даже поднимать руки при голосовании. И председатель перейдет на голосование по принципу «Кто против?» Что будет происходить? Председатель зачитывает вопрос, формулирует предлагаемое им решение, спрашивает: «Кто против?». Члены комиссии безмолвствуют. Председатель констатирует: «Решение принято». И переходит к следующему вопросу.

Только перед самым обедом члены комиссии начнут просыпаться и проявлять активность. Именно поэтому наиболее важный для председателя вопрос лучше ставить на 25-е место, а не на последнее, 30-е. При такой тактике построения заседания есть все основания ожидать, что после формулировки 25-го вопроса повестки дня на возглас председателя «Кто против?» не последует никакой реакции, и нужное председателю решение будет единогласно принято.

Из работ С.Н. Паркинсона можно извлечь весьма много подобных ироничных рекомендаций. Но самое интересное — они работают!

1.4. МЕТОДОЛОГИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В деятельности по производству и реализации управленческих решений выделяют несколько уровней. Первый и наиболее важный уровень, определяющий успех или неудачу управленческой деятельности, — методологический. Расскажем о методологии и других уровнях производства и реализации управленческих решений и приведем примеры, когда методологические ошибки приводят к ошибочным управленческим решениям.

Что такое «методология»? Это слово разбивается на две составляющие: методо-логия. Первая часть, ясно, говорит о методе, вторая — о науке (как «био-логия» — наука о жизни). В результате получаем: методология — наука о методах. Применительно к нашей области — о методах подготовки, принятия и реализации управленческих решений.

А вот специалисты пишут не совсем так или даже совсем не так.

Методология — это учение об организации деятельности. Такое определение дают член-корреспондент Российской академии наук за-

меститель директора Института проблем управления РАН Д.А. Новиков (с октября 2016 г. — директор) и действительный член Российской академии образования А.М. Новиков в своей монографии «Методология» [51]. Обратим внимание: не на методы упор, а на то, как организовать работу.

Более развернутые определения в словарях прошлого тысячелетия. В заслуженном, но уже устаревшем Советском энциклопедическом словаре сказано: «Методология (от «метод» и «логия») — учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности». Тут и методы упоминаются, и деятельность. В уже российском Философском энциклопедическом словаре методы уже не упоминаются: «Методология — система принципов и способов организации и построения теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе».

Четыре ступени лестницы разработки решения. Почему же так часто используется термин «методология принятия управленческих решений»?

Дело в том, что процесс принятия решения начинается с методологического уровня. Сначала необходимо выбрать цель, достичь которую считает необходимым руководитель. Цель должна быть сформулирована без внутренних противоречий. Она должна соответствовать интересам организации, соответствовать окружающей среде, быть достижимой. Правильная постановка управленческой задачи во многом определяет успех ее решения.

Следующий уровень проработки управленческого решения связан с выбором методов решения управленческой задачи. При этом используются различные теоретические наработки в области принятия решений, подробно расписанные в разнообразных литературных источниках (включая Интернет).

Затем приходит время действий в условиях конкретной организации. Надо выбрать и применить конкретные методики при подготовке, принятии, реализации, контроле реализации, оценке результатов выполнения управленческого решения. На этом уровне используют нормативно—организационные документы конкретной организации: инструкции, положения, стандарты.

Итогом является практическая процедура процесса подготовки, принятия и реализации решения. Ее реализуют с помощью принятых в организации инструментов управления: приказов, меморандумов, распоряжений, с указанием ответственных за выполнение отдельных этапов, сроков исполнения, видов управленческой отчетности и т.п.

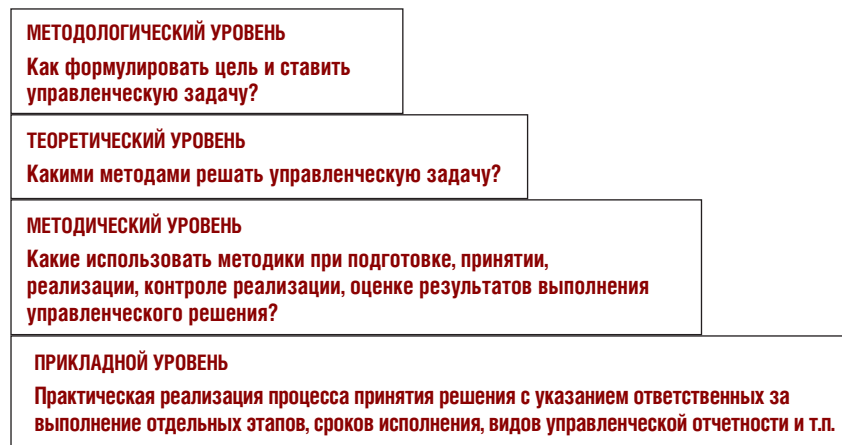


Рис. 1.1. Уровни производства и реализации управленческих решений

Таким образом, внутренняя структура процесса производства и реализации управленческих решений достаточно сложна. Мы выделили в организации деятельности по принятию решений лестницу интеллектуальных действий с четырьмя уровнями — методологическим, теоретическим, методическим, практическим (рис. 1.1).

С какого уровня начинается процесс принятия решений? Очевидно, с методологического. Следовательно, методология, которой придерживается руководитель (синонимы: менеджер, управленец), лежит в основе его деятельности, определяет успешность или неудачу его деятельности.

Сразу за двумя зайцами гнаться бессмысленно? Приведем несколько примеров, когда методологические ошибки приводят к ошибочным управленческим решениям. Поскольку менеджер часто свою методологию выражает в виде кратких принципов (слоганов), проанализируем несколько таких формулировок.

Призыв «Максимум прибыли при минимуме затрат» довольно часто встречается в выступлениях и распоряжениях общего характера. Почему он является ошибочным? Менеджер хочет добиться максимума прибыли. Цель понятная и оправданная. Согласно статье 50 Гражданского кодекса Российской Федерации, коммерческие организации преследуют извлечение прибыли в качестве основной цели своей деятельности. Менеджер хочет добиться минимума затрат. Цель не менее понятная и оправданная по сравнению с предыдущей. Производство должно быть бережливым. В чем же методологическая ошиб-

ка? В призыве «Максимум прибыли при минимуме затрат» идет речь о достижении экстремума (соответственно максимума и минимума) *одновременно* по двум критериям: прибыль должна быть максимальной, а затраты — минимальны. Математическая теория многокритериальной оптимизации говорит однозначно: решения не существует, поскольку нельзя одновременно оптимизировать по двум критериям. Поясним: затраты минимальны, равны 0, если ничего не делать, но тогда и прибыль равна 0. Если же достигнута большая прибыль, то и затраты достаточно велики. В теории многокритериальной оптимизации разработан ряд способов, позволяющих поставить задачу корректно. Наиболее распространенный — превратить один из критериев в ограничение. Например, максимизировать прибыль при условии, что затраты не превосходят заданной величины. Или минимизировать затраты при условии, что прибыль не менее заданной. Подчеркнем, что в данном рассуждении нет необходимости уточнять, какой именно вид прибыли имеется в виду, как считаются затраты, поскольку рассуждение остается справедливым при любом возможном варианте уточнения этих терминов.

Как оценить личность лица, провозглашающего: «Максимум прибыли при минимуме затрат»? Возможно, он не понимает, что говорит. Этот факт отражает его отношение к качеству выступления (он повторяет стандартные призывы) или его умственные способности. Возможно, наоборот, он хорошо понимает, что говорит, но хочет внушить слушателям нужные ему идеи. Это значит, что он сознательно манипулирует сознанием слушателей, проще говоря, обманывает их, как говорят студенты, «вешает лапшу на уши». Пользу или вред обмана обсуждать подробно сейчас не будем. Ясно, что выступление руководителя отнюдь не всегда имеет целью сообщить слушателям какие-либо сведения, часто цель иная — создать нужное руководителю настроение, например оторвать от обыденных забот, побудить к радостной активной трудовой деятельности.

Аналогичная ситуация с другим популярным призывом: формулировкой «Максимум прибыли при минимуме риска». Здесь опять двухкритериальная задача. Один критерий — прибыль, и его надо максимизировать. Второй критерий — риск, и его надо минимизировать. Есть некоторые сложности в определении величины риска, но общий вывод — как в предыдущем случае: нельзя добиться максимума прибыли при минимуме риска, и тот, кто к этому призывает, либо не понимает, что говорит, либо сознательно обманывает слушателей.

Как сказано в пословице: «За двумя зайцами погонишься — ни одного не поймаешь». А почему не поймаешь? Потому что побегут они

в разные стороны. Так и в двух разобранных выше примерах. Один заяц — прибыль, другой — затраты или риск. При любых хозяйственных решениях они движутся в разных направлениях, а не шеренгой, как хотелось бы любителям кратких красивых формулировок.

Какая прибыль и за какое время? Профессор С.Г. Фалько пишет, разъясняя основные положения контроллинга руководителям и специалистам: «Многие руководители считают прибыль главной целью деятельности коммерческого предприятия. На практике же зачастую предприятия стремятся к достижению соподчиненных целей: обеспечение требуемого уровня ликвидности, доли рынка, рост объемов продаж, сохранение персонала, снижение рисков и т.п.» [125].

Первый вопрос, который он обсуждает: прибыль — за какой период времени? «Если прибыль выбрана в качестве основной цели, то нужно обязательно уточнить временной аспект: идет ли речь о прибыли в краткосрочном либо долгосрочном периоде. Так, предприятие может заметно улучшить ситуацию с прибылью, если оно откажется от инвестиций в новое оборудование, прекратит профилактические ремонты, снизит издержки на рекламу. Но это означает, что сегодняшнее благополучие достигнуто за счет перекладывания проблем и трудностей на следующие периоды».

Скажем, цель поставлена так: добиться максимальной прибыли за год. Ретивый исполнитель этого решения может заняться получением прибыли от хозяйственных операций, не связанных с основной деятельностью, — распродать запасы, а затем, доводя решение до абсурда, — станки, здания и земельные участки, так что к началу следующего года от предприятия останется только счет в банке с действительно большой прибылью за предыдущий год. Но предприятия больше нет, и прибыль за следующий год окажется нулевой.

С.Г. Фалько обращает внимание и на другую существенную ошибку. Она «заключается в смешении различных понятий прибыли. Известно несколько видов прибыли: планируемая, ..., фактическая, балансовая, ..., прибыль от основной деятельности».

Итак, призыв «Максимизировать прибыль» не имеет точного смысла, пока не выбран срок, за который рассматривается прибыль, и конкретный вид прибыли. Обосновать тот или иной выбор часто не удастся. В своих книгах С.Г. Фалько подробно разбирает ошибки в формулировке цели и постановке задачи, то есть прослеживает влияние методологии на последствия принятия решений.

Здесь уместно процитировать одного из наиболее успешных предпринимателей всех времен и народов — Генри Форда. В книге «Моя жизнь. Мои достижения» он писал: «... Задача предприятия — произ-

водить для потребления, а не для наживы или спекуляции... Работу на общую пользу ставь выше выгоды...» [128]. Слова Г. Форда важны при принятии решений.

К принятию решений надо подходить системно. Типовая методологическая ошибка — игнорирование системного подхода при принятии решений. Речь идет о том, что надо рассматривать проблему в целом, а не «выдергивать» для принятия и реализации решения какую-нибудь одну черту, хотя и важную.

Так, много лет назад при организации массового жилищного строительства тогдашние управленцы «выдернули», казалось бы, рациональную черту (критерий оценки решения) — стоимость квадратного метра в доме. Тогда расчеты показали, что наиболее дешевые дома — пятиэтажки. Потом пришлось взглянуть системно, учесть стоимость транспортных и инженерных коммуникаций (подводящих электроэнергию, воду, тепло и др.), и оптимальное решение для массовой застройки оказалось уже другое — девятиэтажные дома. При строительстве в центрах мегаполисов необходимо учитывать высокую стоимость земельных участков — и оптимальная этажность оказывается еще больше. Но — застройщикам приходится учитывать требования городских властей, требующих единства архитектурного облика и потому ограничивающих этажность в районах старой застройки. Видим, как много критериев приходится учитывать при выработке управленческого решения.

Другой пример методологической ошибки при подготовке управленческого решения: менеджер банка, отвечающий за распространение пластиковых карт, может сосредоточиться на рекламе этого банковского продукта. Между тем ему от системы «банк — владельцы карт» выгоднее перейти к системе «банк — руководители организаций — владельцы карт». Договоренность с руководителем учреждения, давшим в итоге приказ выплачивать заработную плату сотрудникам с помощью пластиковых карт, принесет гораздо больший прирост численности владельцев карт, чем постоянная дорогая реклама. Ошибка менеджера состояла в неправильном выделении системы, с которой надо работать.

Третий пример: менеджер банка будет не прав, оценивая работу подразделений банка в текущих рублях. Обязательно надо учитывать инфляцию, приводящую к падению покупательной стоимости денежной единицы. Иначе мы сталкиваемся с парадоксальными явлениями, когда реальная ставка платы за кредит отрицательна; или же — рублевый оборот растет, банк якобы процветает, а после перехода к сопоставимым ценам путем деления на индекс инфляции становится ясно, что дела банка плохи.

Итак, методология для руководителя (управленца, менеджера) — не абстрактная интеллектуальная роскошь, а инструмент повседневной работы. Пренебрежение к методологическим аспектам принимаемых решений ведет к экономическим потерям.

1.5. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ МЕНЕДЖЕРА

Практика разработки, принятия и реализации решений основана на нескольких основных понятиях: Кто принимает решения? Порядок подготовки решения (регламент). Цели. Ресурсы. Риски и неопределенности. Критерии оценки решения.

Кто принимает решения? В теории принятия решений есть специальный термин — лицо, принимающее решения, сокращенно ЛПР. Это тот, на ком лежит ответственность за принятое решение, тот, кто подписывает приказ или иной документ, в котором выражено решение. Обычно это президент, генеральный директор или председатель правления фирмы, командир воинской части, мэр города и т.п., словом — ответственный работник. Но иногда действует коллективный ЛПР, как в случае с советом директоров или собранием акционеров — на уровне фирмы, или с Государственной Думой РФ — на уровне страны.

В Группе авиакомпаний «Волга-Днепр», в которой работал автор учебника, правилом является единоличное принятие решений руководителем того или иного уровня, который несет ответственность за его последствия. Поэтому в Группе компаний вместо ЛПР используют сокращение РПР — руководитель, принимающий решение.

Проект решения готовят специалисты, как говорят, «аппарат ЛПР», иногда вместе с сотрудниками иных организаций. Если ЛПР доверяет своим помощникам, то может даже не читать текст, а просто подписать его. Но ответственность все равно лежит на ЛПР, а не на тех, кто участвовал в подготовке решения.

При практической работе важно четко отделять этап дискуссий, когда рассматриваются различные варианты решения, от этапа принятия решения, после которого надо решение выполнять, а не обсуждать. Выработанные практикой этапы разработки, реализации и принятия решений обсудим позже.

Порядок подготовки решения (регламент). В отдельных организациях часты конфликты между менеджерами по поводу сфер ответственности — кто за что отвечает, кто какие решения принимает. Поэтому очень важны регламенты, определяющие порядок работы. Распределение полномочий должно быть зафиксировано письменно.

Недаром любое собрание принято начинать с утверждения председателя, секретаря, повестки заседания, продолжительности обсуждений тех или иных вопросов, а работу любого предприятия или общественного объединения — с утверждения его устава.

В крупных организациях большую роль играют нормативно-организационные документы, в соответствии с которыми работают управленцы. Например, один из проектов, в котором автор учебника участвовал как советник президента Группы компаний «Волга-Днепр», — это разработка «Инструкция по производству и реализации управленческих решений».

Цели. Каждое решение направлено на достижение одной или нескольких стратегических или операционных целей. Одной и той же цели можно, как правило, добиться различными способами.

Например, придя на работу, руководитель высшего или первого уровня: 1) выполняет ежедневную порцию рутинной работы, читает документы и письма, отвечает на них, принимает каждодневные операционные решения; 2) обдумывает стратегическую ситуацию, готовит стратегические решения; 3) приобретает новые знания по интересующим его вопросам, отслеживает изменение внешней обстановки; 4) обсуждает решения проблем с коллегами и подчиненными, проводя различные совещания и беседы, проводя при этом обучение и отбор персонала.

Ресурсы. Каждое решение предполагает использование тех или иных ресурсов. В повседневной жизни мы чаще всего принимаем решения, покупая товары и услуги. И тут совершенно ясно, что такое ресурсы — это количество денег в нашем кошельке. Другой не менее понятный ресурс — общее время, которое нам нужно для выполнения того или иного проекта. Например, вряд ли стоит обходить все окрестные магазины, чтобы выяснить, в каком из них батон хлеба стоит дешевле. Проще купить хоть и дороже на несколько рублей, но быстрее, сэкономив время.

При практической работе над проектом решения важно все время повторять: «Чего мы хотим достичь? Какие ресурсы мы готовы использовать для этого?» Выполнение конкретного решения всегда требует затрат тех или иных ресурсов, например кадровых. Выполнение решения всегда поручают конкретному работнику, следовательно, часть его рабочего времени будет посвящена выполнению этого решения. Умножив затраченное время на стоимость часа его работы, получаем денежное выражение его участия в реализации решения.

Риски и неопределенности. Многие решения принимаются в условиях риска, то есть при возможной опасности потерь. Связано это

с разнообразными неопределенностями, окружающими нас. Кроме отрицательных (нежелательных) неожиданностей бывают положительные — мы называем их удачами, поскольку они представляют возможности для улучшения нашего положения. Менеджеры стараются застраховаться от потерь и не пропустить удачу.

Борьбе с рисками современные менеджеры уделяют все большее внимание. Например, в рамках реализации Постановления Правительства РФ № 218 Группа авиакомпаний «Волга-Днепр» совместно с Ульяновским государственным университетом разработали автоматизированную систему прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при производстве воздушных перевозок. Австралия и Новая Зеландия совместно разработали государственный стандарт по менеджменту риска (т.е по системе управления рисками).

Оценка и анализ рисков, разработка рекомендаций по управлению ими — достойные задачи для специального исследования, например, временным творческим коллективом или экспертной комиссией. Могут быть полезны самые разные экспертные технологии, в том числе использующие «мозговую шторм».

Критерии оценки решения. В своей практической деятельности управленцы используют различные критерии оценки последствий принятия тех или иных решений. Вернемся к примеру из параграфа 1.2.

Пессимист исходит из наихудшего случая. Он рассматривает внешний (для фирмы) мир как врага, который всячески будет стараться уменьшить прибыль фирмы. И в условиях жесткого противодействия со стороны внешнего мира пессимисты предлагают выбирать наиболее выгодный в этих условиях вариант решения. Подход пессимиста хорош при рассмотрении совершенно бескомпромиссного противостояния двух противников, имеющих противоположные интересы, например двух армий воюющих между собой государств. Пессимист предлагает консервативную стратегию, осторожную, неповоротливую, основанную на проверенных решениях, позволяющую удержать завоеванные позиции. Он всячески избегает риска.

Подход оптимиста прямо противоположен. Предлагается исходить из самого благоприятного стечения обстоятельств. Внешний мир для оптимиста — друг, а не враг. Его деятельность можно назвать «прикладной научной фантастикой». Прикладной — потому что она реализуется в виде бизнес-планов конкретных проектов. Научной — потому что он опирается на законы экономики и менеджмента, разрабатывая свои планы. И фантастикой, поскольку он считает, что все трудности с легкостью будут преодолены, внешний мир будет вести себя так, как он хочет. С точки зрения теории стратегического управления и плани-

рования предложения оптимиста можно взять за основу, добавив возможности коррекции плана в случае неблагоприятных обстоятельств.

С чисто логической точки зрения оптимизм не менее и не более оправдан, чем пессимизм. Среди людей и руководителей в частности, выделяются два крайних типа — оптимисты и пессимисты. Особенно четко различие проявляется при вложении капитала, поскольку, как правило, увеличение прибыли связано с увеличением риска. Одни люди предпочтут твердый доход (да еще и застрахуются), отказавшись от соблазнительных, но рискованных предложений. Другой тип людей — оптимисты и авантюристы, они уверены, что им повезет. Такие люди надеются разбогатеть, играя в лотерею.

В финансовом мире США можно довольно просто оценить плату за риск. На одну и ту же сумму можно купить либо государственные облигации с твердым доходом, обеспеченным всей мощью государства, либо акции, стоимость которых определяется игрой спекулянтов на бирже. Сколько принесут акции покупателю — неизвестно. Он может разбогатеть, может и разориться. Но *средняя* доходность акций выше, чем фиксированная доходность облигаций. Эта разность — средняя доходность акций минус доходность облигаций — и есть плата за риск. Столько теряет (в среднем) пессимист, не доверяющий спекулятивному колебанию курсов акций. А теряет он примерно 10% от вложенных средств.

В защиту пессимиста надо сказать, что на фирму, как и на отдельного человека, выигрыш или проигрыш одной и той же суммы могут оказать совсем разное влияние. Выигрыш приносит радость (но не счастье), в то время как проигрыш может означать разорение, полный крах, то есть несчастье. Недаром в микроэкономической теории полезности рассматривают парадоксальное понятие — полезность денег — и приходят к выводу, что полезность равна логарифму имеющейся суммы.

Оценки пессимиста и оптимиста — крайние случаи. Между ними располагаются различные подходы, дающие компромиссные решения. Один из популярных методов (метод статистических решений) основан на расчете среднего дохода, когда «плохие» и «хорошие» варианты развития событий учитываются вместе с шансами (вероятностями) их осуществления. Такой метод фактически предполагает, что придется много раз принимать решения по аналогичным вопросам. Он вполне обоснован, когда выбор технической политики проводится каждую неделю или каждый день. Например, к нему мог бы прибегнуть менеджер, проектирующий свой ресторан, — ориентироваться ли на открытые столики с видом на живописные окрестности или замкнуться

в четырех стенах, отгородившись от дождя. Если события происходят много раз, то для принятия решений естественно использовать методы современной прикладной статистики и эконометрики, как это делают, например, при статистическом контроле качества продукции и сертификации продукции.

Некоторые менеджеры принимают решения на основе условных расчетных величин. Например, рассуждают об «упущенной выгоде». Кажется, естественно стараться, чтобы упущенная выгода была как можно меньше. Но это — чисто условная величина, на нее нельзя ничего купить, ее нельзя положить в банк. Другая подобная условность — «капитализация (стоимость) бизнеса». Пусть у вас есть 1000 акций некоторого предприятия, сегодняшний курс акции — 5000 руб. Можно ли считать, что у вас есть $5000 \cdot 1000 = 5$ млн руб.? Ведь такова суммарная стоимость принадлежащих вам акций. Но попробуйте получить эти 5 млн наличными. Не получится! Как только вы начнете продавать акции этого предприятия, их предложение на бирже возрастет, а потому курс неизбежно упадет. И чем активнее вы будете пытаться избавиться от акций, тем ниже он упадет. В итоге вы будете рады, получив 2 млн наличными — в 5 раз меньше, чем ожидали...

Последствия принятия решений для научно-технического и экономического развития обсуждаются в статье [75].

Каждому менеджеру, в том числе при разработке сценария экспертного исследования, нацеленного на выработку стратегии развития организации, приходится решать, какой из критериев для него важнее. В этом ему, казалось бы, может помочь теория полезности, хорошо разработанная в экономике (в частности, т.н. маргинальная полезность в теории поведения потребителей и др.) и имеющая развитый математический аппарат. Но, увы, люди часто действуют не так, как им предписывает теория полезности...

Поэтому констатируем — никто не может снять с менеджера ответственность за принимаемые решения. Воля менеджера — основа управления.

Контрольные вопросы и задания

В каждом вопросе выберите правильный ответ из двух возможных.

Пример задачи принятия решений в условиях неопределенности (риска).

Размеры прибыли фирмы при различном выборе образца мотоцикла для запуска в серию (млн руб.) приведены в таблице. Разберите пять критериев принятия решения: пессимистичный, оптимистичный,

средней прибыли, минимальной упущенной выгоды, максимальной предсказуемости.

Таблица 1.3

Прибыль при выпуске мотоциклов двух типов (млрд руб.)

| Цена бензина и ее шансы | Мотоцикл «Витязь» | Мотоцикл «Комар» |
|-------------------------|-------------------|------------------|
| Низкая (20%) | 900 | 700 |
| Средняя (60%) | 700 | 600 |
| Высокая (20%) | 100 | 400 |

1. На основе пессимистичного критерия запускают в серию:
 - а) «Витязь»;
 - б) «Комар».
2. На основе оптимистичного критерия запускают в серию:
 - а) «Витязь»;
 - б) «Комар».
3. На основе критерия средней прибыли запускают в серию:
 - а) «Витязь»;
 - б) «Комар».
4. На основе критерия минимизации максимальной упущенной выгоды следует запустить в серию:
 - а) мотоцикл «Витязь»;
 - б) мотоцикл «Комар».
5. На основе критерия максимальной предсказуемости (минимального разброса) результата следует запустить в серию:
 - а) мотоцикл «Витязь»;
 - б) мотоцикл «Комар».

Голосование. Каждый голосующий имеет один голос. Решение принимается по большинству голосов.

6. При голосовании по правилу «Кто за?» воздержавшиеся фактически приравниваются к голосовавшим «против».
 - а) да;
 - б) нет.
7. При голосовании по правилу «Кто против?» воздержавшиеся фактически приравниваются к голосовавшим «за».
 - а) да;
 - б) нет.
8. Может ли последовательность голосований (по большинству голосов) привести к тому, что положение всех голосующих ухудшится?
 - а) да;
 - б) нет.

Темы докладов и рефератов

1. Задачи оптимизации в экономике
2. Теория конечных антагонистических игр и ее применения в экономике.
3. Теория статистических решений применительно к дискуссии на заседании совета директоров фирмы «Русские автомобили».
4. Различные методы организации голосования в малых группах.
5. Анализ утверждения «максимум прибыли при минимуме затрат». (Как можно избавиться от его противоречивости? Предложите как можно больше способов.)
6. Имеет ли точный смысл утверждение «цель работы фирмы — максимизация прибыли»?
7. Системный анализ конкретной, хорошо знакомой вам производственной ситуации и применение изученных вами методов принятия решений для подготовки организационных или иных мероприятий в своей организации. (Оформите работу в виде доклада вышестоящему руководителю или органу (например, совету директоров, правлению или собранию акционеров). Рекомендуемый объем — 10—20 стр.)
8. Роль теории принятия решений в солидарной информационной экономике.

Глава 2

ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ

Различные виды голосований, о которых шла речь в главе 1, — это частные случаи принятия решений с помощью экспертов. экспертных процедур. В настоящей главе рассмотрим примеры процедур экспертных оценок, а затем перейдем к основам теории и практики разработки и применения таких процедур.

Согласно англо-русскому словарю expert — это специалист. Однако в русском языке слово «эксперт» приобрело дополнительные нюансы. Под экспертом понимают не просто специалиста (например, выпускника вуза), а только такого, кто обладает высокой квалификацией и умеет использовать свою интуицию для решения поставленных перед ним задач, например для диагностики, прогнозирования, выбора варианта технического или управленческого решения.

В соответствии со словарями Лопатина, Ожегова, Ушакова в слове «эксперт» ударение приходится на второй слог. Ударение на первый слог соответствует английскому языку, на второй — русскому.

Рассмотрим ряд примеров процедур экспертных оценок, одновременно вводя нужные для дальнейшего обсуждения термины.

2.1. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

Экспертные оценки бывают *индивидуальные* и *коллективные*. *Индивидуальные оценки* — это оценки одного специалиста. Например, преподаватель единолично ставит на экзамене оценку студенту. Врач ставит диагноз больному и назначает лечение. Инспектор ГИБДД экспертно оценивает соблюдение Правил дорожного движения водителем и прописывает лечение — штраф за нарушение правил.

Но в сложных случаях заболевания или при угрозе отчисления студента за плохую учебу обращаются к *коллективному мнению экспертной комиссии* — симпозиуму врачей или комиссии преподавателей. Классический пример коллективной экспертной оценки — решение суда присяжных. По простым делам судья принимает решение еди-

нолично, при рассмотрении тяжких преступлений законодательством предусмотрена возможность участия в принятии решений комиссии экспертов — присяжных заседателей.

Аналогичная ситуация — в армии. Обычно командующий принимает решение единолично. Но в сложных и ответственных ситуациях проводят военный совет. Один из наиболее известных примеров такого рода — военный совет 1812 г. в Филях, на котором под председательством М.И. Кутузова решался вопрос: «Давать или не давать французам сражение под Москвой?».

Работа экспертной комиссии может быть растянута во времени. Например, лечащий врач может отправить пациента на обследование к врачам-специалистам, дать распоряжение провести различные анализы, флюорографию и т.п. Собрав мнения экспертов (в данном случае — врачей-специалистов) и проанализировав объективные данные, лечащий врач формулирует окончательное решение, выражающее мнение всей экспертной комиссии.

Индивидуальная экспертная оценка может потребовать от специалиста выполнения большого объема работы. Например, подготовка рецензии на рукопись книги или заключения оппонента о диссертации, представленной к защите на соискание ученой степени. Обычно эксперт должен следовать тем или иным правилам, приведенным в нормативной и методической документации по определенному виду экспертной деятельности. Например, при оценке диссертации эксперт должен исходить из нормативных документов Высшей аттестационной комиссии РФ.

Индивидуальная экспертная оценка научно-технических проектов

В структуры государственной власти постоянно поступают научно-технические проекты, подготовленные различными организациями и отдельными гражданами. По каждой заявке требуется принять решение о целесообразности осуществления проекта и необходимом для этого содействии со стороны структур государственной власти (финансировании, организационных решениях).

Первый шаг — проект направляется на экспертизу. Эксперт *Российского исследовательского научно-консультационного центра экспертизы* (РИНКЦЭ) получает следующий документ.

Вопросы, которые должны быть отражены в заключении эксперта

1. Актуальность проекта.
2. Краткая характеристика положения в данной области в стране и за рубежом.

3. Научное значение проекта.
4. Научная новизна предлагаемых решений.
5. Прикладное значение проекта.
6. Новизна предлагаемых технических (технологических) решений.
7. Существующие отечественные и зарубежные аналоги (марка, тип, фирма, страна).
8. В чем заключается преимущество предлагаемых решений по сравнению с существующими в данной области в стране и за рубежом.
9. Сравнительные данные экономических показателей объекта и его аналогов (в сопоставимом виде).
10. Оценка потенциала разработчика:
 - наличие научно-технического задела в данной области и в чем он выражается;
 - наличие научно-производственной базы.
11. Обоснованность стоимости работ, оценка структуры затрат.
12. Реальность достижения поставленных целей:
 - в предлагаемые сроки;
 - предлагаемыми способами (методами) и ресурсами.
13. Возможность серийного освоения предлагаемого проекта.
14. Последствия создания и использования проекта:
 - научные и научно-технические;
 - экологические;
 - гуманитарные;
 - экономические;
 - социальные.
15. Выводы:
 - необходимость реализации проекта (полная, частичная);
 - целесообразность финансирования (в целом, частично);
 - рекомендации эксперта.

Мнение эксперта должно быть выражено в специальном документе — заключении. На все 15 приведенных выше вопросов эксперт должен ответить в своем заключении. Ясно, что этот документ должен быть достаточно объемным, а подготовка его трудоемка.

Когда нужна формализация мнений экспертов? Цели экспертизы могут различаться. Так, отзыв официального оппонента заканчивается выводом, соответствует или нет рассмотренная им диссертация требованиям ВАК РФ. Рецензент научного журнала делает в конце своего заключения вывод: может или нет данная статья быть опубликована в журнале. В этих двух случаях нет необходимости сравнивать между собой различные объекты экспертизы.

Однако часто необходимо проводить такое сравнение. Научно-технические или инвестиционные проекты нельзя рассматривать отдельно друг от друга, поскольку ограничено суммарное финансирование, выделенное на всю совокупность проектов.

Насколько подходят для сравнения объектов экспертизы обширные заключения, подготовленные различными экспертами? С одной стороны, эти заключения содержат результаты высококвалифицированного труда по оценке содержания проектов. С другой стороны, написанные в свободной манере заключения не всегда позволяют сопоставить между собой отдельные характеристики проектов. Поэтому эксперты РИНКЦЭ заполняют еще один формализованный документ.

Карта оценки объекта экспертизы

1. Научная значимость:
 - 1) исключительно высокая;
 - 2) значительная;
 - 3) невысокая;
 - 4) неопределимая (в настоящее время);
 - 5) отсутствует.
2. Практическая значимость:
 - 1) исключительно высокая;
 - 2). значительная;
 - 3) невысокая;
 - 4) неопределимая (в настоящее время);
 - 5) отсутствует;
3. Научная новизна, оригинальность:
 - 1) не имеет аналогов;
 - 2) нет аналогов в стране, есть за рубежом;
 - 3) нет аналогов за рубежом, есть в стране;
 - 4) есть сведения об отдельных отечественных и зарубежных аналогах;
 - 5) научная новизна отсутствует.
4. Методы и способы достижения цели:
 - 1) новые;
 - 2) современные;
 - 3) традиционные;
 - 4) устаревшие;
 - 5) неадекватные.
5. Потенциал исполнителей в рассматриваемой области:
 - 1) достаточный;
 - 2) недостаточный в части научного задела (опыта работы);

- 3) недостаточный в части материально-технической (лабораторно-экспериментальной) базы;
- 4) недостаточный в части состава исполнителей;
- 5) данных для оценки недостаточно.
- 6. Срок работы:
 - 1) реальный;
 - 2) завышен;
 - 3) занижен;
 - 4) данных для оценки недостаточно.
- 7. Стоимость работ (объем финансирования):
 - 1) приемлемая;
 - 2) завышена;
 - 3) занижена;
 - 4) данных для оценки недостаточно.
- 8. Рекомендуемый приоритет осуществления:
 - 1) работа первостепенной важности;
 - 2) работа высокой важности;
 - 3) работа представляет определенный интерес;
 - 4) работа представляет незначительный интерес, но заслуживает поддержки при наличии достаточных средств;
 - 5. Работа поддержки не заслуживает.

Дата _____ Эксперт _____ Подпись _____
(ФИО) _____

При заполнении «Карты оценки объекта экспертизы» ничего писать не надо. Следует лишь обвести номера тех пунктов в каждом из разделов, которые соответствуют мнению экспертов. В разделе «Потенциал исполнителей» могут быть обведены несколько номеров, в остальных разделах — по одному. По «Карте оценки объекта экспертизы» легко сравнивать мнения экспертов между собой, а также сопоставлять различные объекты экспертизы.

В конце «Карты оценки объекта экспертизы» предусмотрена подпись эксперта. Эксперт несет ответственность за свое заключение — уголовную, административную, материальную, гражданско-правовую. Экспертные исследования принципиально отличаются от маркетинговых и социологических, в которых подчеркивается анонимность опрашиваемых [1, гл. 2].

Различные типы вопросов. В экспертных исследованиях, а также в выборочных маркетинговых и социологических опросах используют три типа вопросов — закрытые, открытые и полужакрытые, они же полукоткрытые. При ответе на закрытые вопросы можно выбирать лишь из заранее сформулированных составителями анкеты

вариантов ответа. В качестве ответа на открытый вопрос опрашиваемого просят изложить свое мнение в свободной форме. Полужакрытые, они же полукоткрытые вопросы занимают промежуточное положение — кроме выбора среди перечисленных в анкете вариантов можно добавить свои соображения. Ясно, что «Вопросы, которые должны быть отражены в заключении эксперта», являются открытыми, а «Карта оценки объекта экспертизы» состоит из закрытых вопросов.

Каждый из этих типов вопросов имеет свои достоинства и недостатки. Преимущество открытых вопросов в том, что эксперт может свободно высказать свое мнение так, как сочтет нужным. Их недостаток — в сложности сопоставления мнений различных экспертов. Для такого сопоставления и получения сводных характеристик организаторы опроса вынуждены сами шифровать ответы на открытые вопросы, применяя разработанную ими схему шифровки.

Преимущество закрытых вопросов в том, что такую шифровку проводит сам эксперт. Однако при этом организаторы опроса уподобляются древнегреческому мифическому персонажу Прокрусту. Как известно, Прокруст приглашал путников заночевать у него. Укладывал их на кровать. Если путник был маленького роста, он вытягивал его ноги так, чтобы они доставали до конца кровати. Если же путник оказывался высоким и ноги его торчали — он обрубал их так, чтобы достигнуть стандарта: «рост» путника должен равняться длине кровати. Так и организаторы опроса, применяя закрытые вопросы, заставляют эксперта «вытягивать» или «обрубить» свое мнение, чтобы выразить его с помощью приведенных в формулировке вопроса возможных ответов.

Ясно, что для обработки данных по группам и сравнения групп между собой нужны формализованные данные, и фактически речь может идти лишь о том, кто именно — эксперт или организатор экспертизы — будет шифровать ответы.

На этапе подготовки важного экспертного опроса проводят пилотное исследование — апробацию документов и процедур анализа ответов, которые будут собраны в ходе будущего опроса. В пилотном исследовании участвует небольшое число экспертов. Цель их работы — проверить доступность задач опроса и документации пониманию экспертов, работоспособность расчетных процедур, уточнить формулировки вопросов и способы сбора и анализа экспертных мнений. В рамках пилотного исследования может быть проведена предварительная экспертиза, специально посвященная отработке перечня и формулировок вопросов.

2.2. ОЦЕНКА И ВЫБОР ВАРИАНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТОВ

Рассмотрим несколько процедур коллективных экспертных оценок, начиная с простейших, при этом вводя и обсуждая используемые в дальнейшем понятия.

Оценка номеров в КВН. Простейший пример коллективных экспертных оценок — оценка номеров в известной игре КВН (Клуб веселых и находчивых). Экспертной комиссией является жюри. Просмотрев номер, каждый из членов жюри поднимают планшет со своей оценкой. Затем технический работник (не член жюри) вычисляет среднюю арифметическую оценку, которая и объявляется как коллективное мнение жюри (ниже увидим, что такой подход некорректен с точки зрения теории измерений). Обратим внимание на технического работника. После обработки экспертных мнений он выставляет оценку на стенд, делая результаты экспертизы доступными всем желающим. Он представляет коллектив тех, кто обеспечивает организацию и проведение экспертизы. Этот коллектив называют *рабочей группой* (РГ) [92, гл. 12] или «группой сопровождения» [117].

Таким образом, два основных объекта рассмотрения в настоящем учебнике — это *экспертная комиссия* (ЭК) и *рабочая группа*.

Фигурное катание. В фигурном катании процедура обработки оценок экспертов усложняется — перед усреднением *отбрасываются самая большая и самая маленькая оценки*, чтобы не было соблазна завысить оценку одной спортсменке (например, соотечественнице) или занижить другой. Такие резко выделяющиеся из общего ряда оценки будут сразу отброшены.

Пусть X_1, X_2, \dots, X_n — оценки n экспертов. При проведении КВН в качестве коллективной экспертной оценки используют среднее арифметическое всех n оценок

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}.$$

В фигурном катании нужно переставить элементы выборки в порядке возрастания (точнее, неубывания) и получить вариационный ряд $X(1) < X(2) < \dots < X(n)$, исключить минимум $X(1)$ и максимум $X(n)$, а затем в качестве коллективной экспертной оценки взять урезанное среднее арифметическое, то есть среднее арифметическое оставшихся $(n - 2)$ членов вариационного ряда

$$X^* = \frac{X(2) + X(3) + \dots + X(n-1)}{n-2}.$$

С точки зрения прикладной математической статистики [76], X^* — это робастная оценка теоретического среднего, нацеленная на борьбу с аномальными (резко выделяющимися) результатами наблюдений. Аномальные результаты порождены внешними влияниями на судей фигурного катания, искажающими их профессиональные экспертные оценки, поэтому простое изменение правил расчетов итоговой оценки (переход от среднего арифметического к урезанному среднему) позволяет уберечь экспертов от вызванных извне уклонений от решения поставленных перед ними задач.

Итак, *правила обработки оценок экспертов* существенно влияют на объективность выводов экспертной комиссии.

Экспертный выбор. Экспертные оценки часто используются при выборе — одного варианта технических устройств из нескольких, группы космонавтов из многих претендентов, набора проектов научно-исследовательских работ для финансирования из массы заявок, получателей экологических кредитов из многих желающих, выбор инвестиционных проектов для реализации среди представленных и т.д.

Типовая ситуация такова. Заказчик формулирует технические требования к будущему изделию. Объявляется конкурс (тендер), итогом которого должен быть выбор той или иной разработки для серийного выпуска. Допущенные к конкурсу организации к заданному сроку представляют опытные образцы. Как правило, оказывается, что эти образцы несравнимы; каждый из них по каким-то важным показателям качества лучше других, а по другим важным показателям — хуже того или иного из остальных образцов. Например, у одного опытного образца дальность полета больше, у другого — расход топлива на 1 000 км меньше, у третьего — потолок полета выше, у четвертого — броня крепче, у пятого — под крыльями можно дополнительно подвесить две ракеты. Какой стратегический бомбардировщик (из разработанных разными конструкторскими бюро и представленных на тендер) выбрать для серийного производства?

Задача экспертной комиссии — выбрать опытный образец для запуска в серийное производство. Есть два принципиально разных подхода к решению этой задачи.

Первый подход основан на сравнении образцов. Например, каждый из экспертов упорядочивает образцы в соответствии со своими предпочтениями. Полученные от экспертов *упорядочения (ранжировки)* обрабатываются теми или иными математическими методами с целью расчета итогового мнения комиссии экспертов. В другом варианте организации экспертизы эксперту образцы предъявляются попарно для сравнения, математический анализ результатов *парных сравнений*

позволяет найти итоговое мнение. В третьем варианте каждого эксперта просят выбрать три лучших образца и т.д.

Второй подход имеет целью соизмерить сравнительную важность различных показателей качества, построить интегральный показатель качества (рейтинговую оценку), с помощью которого можно упорядочить образцы по качеству (рассчитать *рейтинг* образцов). Пусть, например, выделено (с помощью предварительного экспертного исследования) m показателей качества. Для конкретного объекта экспертизы экспертная комиссия оценивает эти показатели Y_1, Y_2, \dots, Y_m , затем рабочая группа (РГ) рассчитывает значение интегрального показателя качества

$$Y = a_1 Y_1 + a_2 Y_2 + \dots + a_m Y_m + .$$

На основе полученных значений Y можно выбрать наилучший образец, упорядочить образцы по качеству, указав рейтинг образцов, то есть значения интегрального показателя, соответствующие образцам. Значения коэффициентов a_i (коэффициентов важности, весомости, значимости) обычно определяются с помощью той или иной экспертной процедуры.

Кроме аддитивной формы интегрального показателя часто используют мультипликативный вариант этого показателя:

$$Z = \prod_{j=1}^m Y_j^{b_j},$$

в котором показатели степени b_j обычно также определяются экспертным путем.

Вопросы построения рейтингов подробно рассмотрены ниже в соответствующей главе учебника.

Кроме задачи выбора наилучшего (с точки зрения экспертов) образца описанные методы позволяют решить ряд иных практических задач, в частности задачу распределения финансирования. Пусть имеется ряд объектов экспертизы, нуждающихся в финансировании, например инвестиционных проектов или заявок на выполнение научно-технических проектов (работ). Естественно упорядочить объекты экспертизы по качеству (рентабельности, привлекательности и т.п.), а затем выделять необходимые объемы финансирования, начиная с наилучшего объекта. Тогда начальная часть вариационного ряда показателей качества будет соответствовать профинансированным объектам экспертизы, а заключительная — тем, кому финансирования не досталось.

На границе между этими двумя группами возможны нюансы. Например, объект экспертизы A нельзя профинансировать в необходи-

мом объеме из-за недостатка средств, а вот на финансирование худшего, чем A , объекта экспертизы B средств достаточно. Тогда объект B будет финансироваться, а объект A — нет, вопреки рейтингу.

Военные советы как форма экспертной деятельности. С тех пор как люди научились говорить, проводились совещания специалистов. Поэтому можно сказать, что экспертным оценкам столько же лет, сколько человеческому обществу. Конечно, постепенно технологии экспертного оценивания развивались. Например, появилась идея *независимой экспертизы*. Ее можно сопоставить с идеей разделения власти на законодательную, исполнительную и судебную ветви в предположении независимости ветвей власти.

Весьма важен *регламент* проведения заседания комиссии экспертов. В «Капитанской дочке» (глава X) А.С. Пушкин приводит слова, с которыми генерал, комендант Оренбурга, обратился к членам военного совета:

«Теперь, господа, — продолжал он, — надлежит решить, как нам действовать противу мятежников: *наступательно* или *оборонительно*? Каждый из оных способов имеет свою выгоду и невыгоду. Действие наступательное представляет более надежды на скорейшее истребление неприятеля; действие оборонительное более верно и безопасно.... Итак, начнем собирать голоса по законному порядку, то есть, начиная с младших по чину. Г-н прапорщик! — продолжал он, обращаясь ко мне. — Извольте объяснить нам ваше мнение».

Военный совет в данном случае — это собрание экспертов (военных специалистов). Председатель собрания четко поставил задачу: надо выбрать либо наступление, либо оборону. Обсуждение идет в однозначно заданном порядке — от младших к старшим. Младшие могут спокойно высказывать свои мысли, не боясь, что их предложения будут противоречить мнению старших. Старшие имеют возможность учесть высказанные аргументы и сделать свои выступления более обоснованными.

Важность соблюдения *регламента* проведения заседания экспертной комиссии становится особенно ясной при сопоставлении с распространенным в XVII в. местничеством. Бояре постоянно спорили, кто из них главнее, следовательно, кто должен сидеть ближе к царю и говорить раньше и больше других. Заседание постоянно прерывалось схватками, иногда не только словесными, между его участниками. Повышению эффективности заседаний весьма способствовало введение Петром I системы чинов и регламентации служебных взаимоотношений в соответствии с нею. И в настоящее время общепринятой практикой является выбор (или назначение) в начале собрания председателя и секретаря и утверждение регламента.

Наиболее известный в истории России военный совет состоялся 01.09.1812 в Филях, вскоре после Бородинского сражения. Обсуждался вопрос: «Дать французам сражение под Москвой или оставить Москву без боя?» Решение должен был принять главнокомандующий (и одновременно министр обороны) генерал-фельдмаршал М.И. Кутузов. Военный совет, как и любая комиссия экспертов — совещательный орган, а окончательные решения принимает тот, кому это поручено. В современной литературе такой человек обозначается как *лицо, принимающее решение*, сокращенно ЛПР (по первым буквам).

Большинство экспертов, рассказав о состоянии своих войск, высказалось за сражение. Однако, учитывая тяжелые потери русской армии, ЛПР (то есть Кутузов) принял решение оставить Москву без боя. Аргументировал это решение Кутузов так: «Оставив Москву, мы сохраним армию; потеряв армию, мы потеряем и Москву, и Россию». И 02.09.1812 русские войска без боя оставили Москву, с ними ушла и половина московского населения (около 100 тыс. человек). Как известно, это решение Кутузова предопределило поражение Наполеона в войне и изгнание захватчиков.

Итак, ЛПР поступил вопреки мнению большинства экспертов. Значит ли это, что работа *экспертной комиссии* (ЭК) пропала впустую? Отнюдь! Собранная экспертами информация использована ЛПР. Продемонстрированный генералами русской армии боевой дух, готовность сражаться с врагом также были учтены ЛПР, наряду с теми соображениями, которые не могли знать эксперты и которые были приняты во внимание ЛПР.

Обсуждение *регламента* проведения заседаний и организации экспертного исследования в целом, взаимоотношений ЛПР и ЭК касаются всех видов экспертных оценок, отнюдь не только военных советов.

2.3. ЭКСПЕРТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Перейдем к развитию экспертных исследований в XX в.

Кибернетика — основа управления. Большое влияние на развитие исследований в области управления в целом и менеджмента в частности оказало появление в 1948 г. книги американского математика Норберта Винера (1894—1964) «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» [8]. Через два года вышла его книга «Кибернетика и общество» [9]. Началось мощное научное движение, ключевые слова которого — кибернетика, исследование операций, системный анализ, математическое моделирование, оптимальное управление,

экспертные оценки и др. Оно до сих пор определяет лицо современной науки об управлении. В нашей стране огромную роль в развертывании исследований по кибернетике сыграл академик АН СССР адмирал-инженер Аксель Иванович Берг (1893—1979). С 1950-х гг. до последних дней жизни он возглавлял Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика».

Один из вождей отечественного кибернетического движения академик РАН Никита Николаевич Моисеев (1917—2001) в своей книге [47] приводит ряд фактов, позволяющих проследить историю кибернетических идей. Он обращает внимание на книгу профессора Бронислава Трентовского «Отношение философии к кибернетике как искусству управления народами», вышедшую в Познани в 1843 г. (за 105 лет до книги Н. Винера) на польском языке. Для образованных людей XIX в., знакомых с древнегреческим языком, слово «кибернетика» было вполне понятно. Оно означало систему взглядов, знаний, навыков, которой должен был обладать управляющий, чтобы эффективно управлять людьми и ресурсами, находящимися в его распоряжении. Большой вклад в кибернетику в целом и в теорию систем в частности внесли отечественные ученые — член Петербургской академии наук Евграф Степанович Федоров (1853—1919) и особенно Александр Александрович Богданов (1873—1928), деятель российского революционного движения, врач, философ, экономист (настоящая фамилия — Малиновский). С 1926 г. — организатор и директор Института переливания крови. Погиб, производя на себе медицинский опыт. Основное сочинение А.А. Богданова — трехтомная «Всеобщая организационная наука (тектология)». Первый том напечатан в 1913 г. Полностью книга выходит в 1925—1929 гг.

Многие идеи кибернетики были известны задолго до Н. Винера (хотя сам он об этом, скорее всего, и не догадывался). Почему же именно книга Н. Винера послужила толчком к развитию работ по теории управления, а не работы Трентовского, Федорова, Богданова? Одно из возможных объяснений — «Кибернетика» Винера появилась вовремя, после Второй мировой войны, когда стали выделять большие ресурсы на развитие науки (это было реакцией правительств на продемонстрированную в Хиросиме и Нагасаки роль науки в практике).

После Второй мировой войны в рамках научного движения, включающего кибернетику, информатику, системный анализ, теорию управления, менеджмент и исследование операций, стала развиваться самостоятельная научно-практическая дисциплина — теория и практика экспертных оценок.

Метод Дельфи. Один из наиболее известных методов экспертных оценок — это *метод Дельфи*. Название дано по ассоциации с древним обычаем для получения поддержки при принятии решений обращаться в Дельфийский храм. Он был расположен у выхода ядовитых вулканических газов. Жрицы храма (пифии), надышавшись отравы, начинали пророчествовать, произнося непонятные слова. Специальные «переводчики» — жрецы храма толковали эти слова и отвечали на вопросы пришедших со своими проблемами паломников. Те спрашивали, отправляться ли в морское путешествие, вступать ли в брак, заключать ли договор с тем или иным деловым партнером, начинать ли войну, и т.д.

Технология экспертного оценивания состояла в следующем. Получив «заказ на экспертное прогнозирование», жрецы передавали его пифиям, выслушивали пророчества пифий, а затем толковали услышанное заказчику. С течением времени в храме накапливались пожертвования и памятные доски от тех, для кого прогнозы сбылись. Если же прогноз не осуществился, то сообщить об этом зачастую было некому: заказчик лежал на морском дне или был убит в битве, разорен и продан в рабство и т.п.

По традиции говорят, что Дельфийский храм находился в Греции. Но там нет вулканов. Видимо, он был в Италии — у Везувия или Этны, а сами описанные предсказания происходили в XII—XIV вв. Это вытекает из высшего достижения современной исторической науки — новой статистической хронологии.

В США в 1960-х гг. методом Дельфи называли экспертную процедуру прогнозирования научно-технического развития. В первом туре эксперты называли вероятные даты тех или иных будущих свершений. Во втором туре каждый эксперт знакомился с прогнозами всех остальных. Если его прогноз сильно отличался от прогнозов основной массы экспертов, его просили пояснить свою позицию, и часто он изменял свои оценки, приближаясь к средним значениям. Эти средние значения и выдавались заказчику как групповое мнение. Реальные результаты исследования оказались довольно скромными — хотя дата высадки американцев на Луну была предсказана с точностью до месяца; все остальные прогнозы провалились — холодного термоядерного синтеза и средства от рака в XX в. человечество не дождалось.

Однако сама методика оказалась популярной — за последующие 15 лет она использовалась не менее 40 тыс. раз. Это объяснялось впечатлением от беспрецедентного успеха предсказания даты высадки на Луну. Можно констатировать, что именно этот успех выдвинул метод экспертной оценки на роль самостоятельного научно-практического

направления, с которым должны быть знакомы все инженеры и управленцы, а также деятели иных специальностей.

Средняя стоимость экспертного исследования по методу Дельфи — 5 тыс. дол. США, но в ряде случаев приходилось расходовать и более крупные суммы — до 130 тыс. дол.

Метод сценариев. Несколько в стороне от основного русла экспертных оценок лежит *метод сценариев*, применяемый для экспертного прогнозирования.

Рассмотрим основные идеи технологии сценарных экспертных прогнозов.

Социально-экономическое или, скажем, экологическое прогнозирование, как и любое прогнозирование вообще, может быть успешным лишь при некоторой стабильности условий. Однако решения органов власти, отдельных лиц, иные события меняют условия, и события развиваются по-иному, чем ранее предполагалось. Вполне очевидно, что после первого тура президентских выборов 1996 г. о дальнейшем развитии событий можно было говорить лишь в терминах сценариев: если во втором туре победит Б.Н. Ельцин, то будет то-то и то-то, если же победит Г.А. Зюганов, то события пойдут так-то и так-то.

Метод сценариев необходим не только в социально-экономической или экологической области. Например, при разработке методологического, программного и информационного обеспечения *анализа риска* химико-технологических проектов необходимо составить детальный каталог сценариев аварий, связанных с утечками токсических химических веществ. Каждый из таких сценариев описывает аварию своего типа, со своим индивидуальным происхождением, развитием, последствиями, возможностями предупреждения.

Таким образом, метод сценариев — это метод декомпозиции задачи прогнозирования, предусматривающий выделение набора отдельных вариантов развития событий (сценариев), в совокупности охватывающих все возможные варианты развития. Каждый отдельный сценарий должен допускать возможность достаточно точного прогнозирования, а общее число сценариев должно быть обозримо.

Возможность подобной декомпозиции не очевидна. При применении метода сценариев необходимо осуществить два этапа исследования:

- построение исчерпывающего, но обозримого набора сценариев;
- прогнозирование в рамках каждого конкретного сценария с целью получения ответов на интересующие исследователя вопросы.

Каждый из этих этапов лишь частично формализуем. Существенная часть рассуждений проводится на качественном уровне, как это

принято в общественно-экономических и гуманитарных науках. Одна из причин в том, что стремление к излишней формализации и математизации приводит к *искусственному* внесению определенности там, где ее нет по существу, либо к использованию громоздкого математического аппарата. Так, рассуждения на словесном уровне считаются доказательными в большинстве ситуаций, в то время как попытка уточнить смысл используемых слов с помощью, например, теории нечетких множеств, приводит к весьма громоздким математическим моделям.

Набор сценариев должен быть обозрим. Приходится исключать различные маловероятные события — прилет инопланетян, падение астероида, массовые эпидемии ранее неизвестных болезней, и т.д. Само по себе создание набора сценариев — предмет экспертного исследования. Кроме того, эксперты могут оценить вероятности реализации того или иного сценария.

Прогнозирование в рамках каждого конкретного сценария с целью получения ответов на интересующие исследователя вопросы также осуществляется в соответствии с описанной выше методологией прогнозирования. При стабильных условиях могут быть применены статистические методы прогнозирования временных рядов. Однако этому предшествует анализ с помощью экспертов, причем зачастую прогнозирование на словесном уровне является достаточным (для получения интересующих исследователя и ЛПР выводов) и не требующим количественного уточнения.

Как известно, при принятии решений на основе анализа ситуации (как говорят, при *ситуационном анализе*), в том числе анализа результатов прогнозных исследований, можно исходить из различных критериев. Так, можно ориентироваться на то, что ситуация сложится наихудшим, или наилучшим, или средним (в каком-либо смысле) образом. Можно попытаться наметить мероприятия, обеспечивающие минимально допустимые полезные результаты при любом варианте развития ситуации, и т.д.

Мозговой штурм. Еще один вариант экспертного оценивания — *мозговой штурм* — организуется как собрание экспертов, на выступления которых наложено одно, но очень существенное ограничение — нельзя критиковать предложения других. Можно их развивать, можно высказывать свои идеи, но нельзя критиковать! В ходе заседания эксперты, «заражаясь» друг от друга, высказывают все более экстравагантные соображения. Часа через два записываемое на магнитофон или видеокамеру заседание заканчивается, и начинается второй этап мозгового штурма — анализ высказанных идей. Обычно за время дискус-

сии высказывается около 100 идей. Из них примерно 30 заслуживают дальнейшей проработки, 5-6 идей дают возможность сформулировать прикладные проекты, а 2-3 идеи оказываются в итоге приносящими полезный эффект — прибыль, перевод конфликта в сотрудничество, повышение экологической безопасности, оздоровление окружающей природной среды и т.п.

Интерпретация идей — творческий процесс. Например, при обсуждении возможностей защиты кораблей от торпедной атаки была высказана идея: «Выстроить матросов вдоль борта и дуть на торпеду, чтобы изменить ее курс». После проработки эта идея привела к созданию устройств, создающих волны, сбивающие торпеду с курса.

2.4. ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В настоящее время практически все виды трудовой деятельности так или иначе связаны с проведением экспертиз. Врачи и преподаватели, управленцы (менеджеры) и инженеры, юристы и экономисты — все они в той или иной степени эксперты. Классифицировать основные виды экспертной деятельности можно по областям конкретной профессиональной деятельности, а также по тем задачам, которые решают с помощью экспертных исследований.

По областям конкретной профессиональной деятельности выделяют следующие виды экспертиз:

- строительная;
- медицинская;
- судебная;
- экологическая, в том числе объектов недропользования;
- товароведческая;
- экспертиза качества товаров;
- патентная;
- страховая;
- аудит
- экспертиза при оценке имущества, бизнеса, нематериальных активов, и т.д. [35].

Экспертная деятельность в конкретных областях обычно регулируется соответствующими нормативными актами и осуществляется в соответствии с теми или иными методическими материалами. В дальнейших главах в качестве примера нормативного регулирования экспертной деятельности будем рассматривать Федеральный закон от 23.11.1995 «174-ФЗ «Об экологической экспертизе».

При классификации по решаемым задачам выделяют [37] оценочные и управленческие экспертизы.

Результатами *оценочных экспертиз* являются:

- численные оценки объектов (значений показателей, параметров, характеристик объектов);
- отнесение объектов экспертизы к тому или иному виду объектов, классу объектов, сорту;
- ранжирования объектов по тому или иному свойству, качеству, показателю, критерию;
- рейтинги, позволяющие определить численные значения, характеризующие сравнительную предпочтительность объектов экспертизы;
- индексы, позволяющие оценить (характеризующие) состояние объектов экспертизы,
- иные объекты числовой или нечисловой природы, используемые для оценивания объектов экспертизы (конкретные виды объектов числовой или нечисловой природы рассматриваются в следующих главах учебника).

Примерами результатов оценочных экспертиз, в частности, являются:

- результаты определения победителей конкурсов, тендеров, подрядных торгов, иных соревнований;
- рейтинги организаций (промышленных предприятий, вузов, банков, страховых компаний), ценных бумаг, политических деятелей, бизнесменов и спортсменов;
- индексы (Доу-Джонса и др.), характеризующие движение курсов ценных бумаг на биржах.

Результатом *управленческих экспертиз* является подготовка рекомендаций и заключений на всех этапах цикла выработки, принятия и реализации управленческих решений. К их числу относятся экспертизы при:

- выработке стратегии и тактики (определении стратегических целей, приоритетов деятельности, планов, организационных структур, разработке бизнес-планов и т.д.);
- подготовке аналитических материалов и проведении ситуационного анализа, включая разработку прогнозов и сценариев;
- генерировании и отборе альтернативных вариантов решений;
- оценке альтернативных вариантов решений и определении наиболее предпочтительного из них;
- контроле хода реализации принятых решений;
- корректировке принятых ранее управленческих решений на основании оценки хода реализации принятых решений.

Конечно, эти перечни не являются исчерпывающими. Они позволяют составить представление о том, насколько разнообразны задачи экспертных оценок и области их практического применения.

Согласимся с мнением проф. Б.Г. Литвака, что экспертизы необходимы на всех стадиях управленческого цикла, в какой бы области деятельности ни принималось решение [35]. Без профессиональной экспертизы нет сегодня профессионально принятого решения!

Разработана масса методов получения экспертных оценок. В одних с каждым экспертом работают отдельно, он даже не знает, кто еще является экспертом, а потому высказывает свое мнение независимо от авторитетов. В других экспертов собирают вместе для подготовки материалов для ЛПР, эксперты обсуждают проблему друг с другом, учатся друг у друга, и неверные мнения отбрасываются. В одних методах число экспертов фиксировано и таково, чтобы статистические методы проверки согласованности мнений и затем их усреднения позволяли принимать обоснованные решения. В других — число экспертов растет в процессе проведения экспертизы, например, при использовании метода «снежного кома» (о нем — ниже). Не меньше существует и методов обработки ответов экспертов, в том числе весьма насыщенных математикой и компьютеризированных. В дальнейших главах книги на основе методологии, развитой в [93], рассмотрены современные методы экспертных оценок.

2.5. ОСНОВНЫЕ СТАДИИ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА

Познакомившись с примерами процедур экспертных оценок, обсудим общие вопросы организации экспертного исследования.

Рассмотрим подробнее отдельные этапы типового экспертного исследования. Как показывает практический опыт, с точки зрения менеджера-организатора такого исследования, целесообразно выделять следующие стадии проведения экспертного опроса.

1. *Принятие решения о необходимости проведения экспертного опроса и формулировка его цели ЛПР.* Таким образом, инициатива должна исходить от руководства, что в дальнейшем обеспечит успешное решение организационных и финансовых проблем. Очевидно, что исходный толчок может быть дан докладной запиской одного из сотрудников или дискуссией на совещании, но реальное начало работы — решение ЛПР. Цель экспертного исследования ЛПР может сформулировать по-разному, и от этой формулировки зависит выбор процедуры экспертизы.

2. *Подбор и назначение ЛПР основного состава рабочей группы (РГ).* Обычно — научного руководителя и ответственного секретаря. Научный руководитель отвечает за организацию и проведение экспертного исследования в целом, за анализ собранных материалов и подготовку заключения экспертной комиссии; участвует в формировании коллектива экспертов и выдаче задания каждому эксперту (вместе с ЛПР или его представителем). Он сам — высококвалифицированный эксперт и признаваемый другими экспертами формальный и неформальный руководитель экспертной комиссии. Дело ответственного секретаря — ведение документации экспертного опроса, решение организационных задач. Назначение научного руководителя и ответственного секретаря оформляется распорядительным документом (приказом, постановлением и т.п.). Остальной состав РГ обычно формируется в процессе развертывания исследования, причем по предложениям научного руководителя и ответственного секретаря.

3. *Разработка РГ* (точнее, ее основным составом, прежде всего научным руководителем и ответственным секретарем) *и утверждение у ЛПР технического задания на проведение экспертного опроса.* На этой стадии решение о проведении экспертного опроса приобретает четкость во времени, финансовом, кадровом, материальном и организационном обеспечении. В частности, формируется костяк РГ со своей внутренней структурой. Обычно в РГ выделяются различные группы специалистов — аналитическая, эконометрическая (специалисты по методам анализа данных), компьютерная, по работе с экспертами (например, интервьюеры), организационная. Возможно совмещение ролей — один и тот же сотрудник может и отвечать за выбор метода анализа экспертных мнений, и сам же проводить этот анализ. Очень важно для успеха, чтобы все перечисленные позиции были включены в техническое задание и утверждены ЛПР.

4. *Разработка аналитической группой РГ подробного сценария (то есть регламента, правил) проведения сбора и анализа экспертных мнений (оценок).* Термин «сценарий» имеет примерно тот же смысл, что и в театре и кинематографе. Сценарий включает в себя анкеты и опросные листы (планы интервью), определяющие конкретный вид информации, которая будет получена от экспертов (например, слова, условные градации, числа, ранжировки, разбиения или иные виды объектов нечисловой природы). Например, довольно часто экспертов просят высказаться в свободной форме, ответив при этом на некоторое количество заранее сформулированных вопросов. Кроме того, их просят заполнить формальную карту, в каждом пункте выбрав одну из нескольких градаций (см. приведенные выше примеры).

Сценарий должен содержать и конкретные методы анализа собранной информации. Например, вычисление медианы Кемени, статистический анализ люсианов, применение иных методов статистики объектов нечисловой природы и других разделов прикладной статистики (о некоторых из названных методов речь пойдет ниже, см. также [92]). Эта работа ложится на эконометрическую и компьютерную группу РГ.

Традиционная ошибка — сначала собрать информацию, а потом думать, что с ней делать. В результате, как показывает печальный практический опыт, информация используется не более чем на 1—2%. В большом ворохе беспорядочно собранных фактов, как правило, отсутствует необходимая упорядоченность. А именно, значения отдельных показателей собраны с пропусками, способы измерения меняются от одного эксперта к другому, от одного объекта экспертизы к другому (как говорят, определения «плывут»), сам перечень показателей не позволяет ответить на интересующие ЛПР вопросы, и т.д.

Сценарий утверждается научным руководителем ЭК.

5. *Подбор экспертов* в соответствии с их компетентностью. На этой стадии РГ составляет список возможных экспертов и оценивает степень их пригодности для планируемого исследования. Итоговый перечень должен включать по крайней мере в 1,5 раза больше потенциальных экспертов, чем то количество, которое планируется реально привлечь к работе.

6. *Формирование экспертной комиссии.* На этой стадии РГ проводит переговоры с экспертами, получает их согласие на работу в ЭК. Возможно, часть намеченных РГ (на стадии 5) экспертов не сможет войти в ЭК (болезнь, отпуск, командировка и др.) или откажется по тем или иным причинам (занятость, условия контракта и др.). В обязательном порядке ЛПР утверждает состав экспертной комиссии, возможно, вычеркнув или добавив часть экспертов к предложениям РГ. Проводится заключение договоров с экспертами об условиях их работы и ее оплаты. На этой же стадии завершается формирование РГ.

7. *Проведение сбора экспертной информации* в соответствии с разработанным на стадии 4 сценарием. Часто перед этим проводится набор и обучение интервьюеров — одной из групп, входящих в РГ.

8. *Компьютерный анализ экспертной информации* с помощью включенных в сценарий методов. Ему обычно предшествует компьютеризация экспертных мнений, то есть создание и наполнение соответствующих баз данных или электронных таблиц.

9. При применении (согласно сценарию) экспертной процедуры из нескольких туров — *повторение* двух предыдущих этапов.

10. *Итоговый анализ экспертных мнений, интерпретация полученных результатов* аналитической группой РГ и подготовка заключительного документа ЭК для ЛПР. Форма заключения ЭК обычно задается в техническом задании. В Федеральном законе «Об экологической экспертизе» [21] требованиям к заключению ЭК посвящена обширная статья 18.

11. *Официальное окончание* деятельности ЭК и РГ, в том числе *утверждение ЛПР заключительного документа ЭК*, подготовка и утверждение научного и финансового отчетов РГ о проведении экспертного исследования, оплата труда экспертов и сотрудников РГ, официальное прекращение деятельности (ропуск) ЭК и РГ.

Научный отчет РГ должен позволять восстанавливать все подробности деятельности ЭК на основе документов. В него должны быть включены все полученные от экспертов материалы и протоколы компьютерной обработки данных. Этот отчет может быть использован в суде и арбитражном суде, если заинтересованные организации и лица сочтут нужным оспорить выводы ЭК в судебном порядке.

2.6. ПОДБОР ЭКСПЕРТОВ

Разберем подробнее отдельные стадии экспертного исследования. Начнем с подбора экспертов: кадры решают все! Каковы эксперты — таково и качество заключения экспертной комиссии.

Проблема подбора экспертов — одна из наиболее сложных в теории и практике экспертных исследований. Очевидно, в качестве экспертов необходимо использовать тех людей, чьи суждения наиболее помогут принятию адекватного решения. Но как выделить, найти, подобрать таких людей? Надо прямо сказать, что *нет методов подбора экспертов, наверняка обеспечивающих успех экспертизы*. Сейчас не будем обсуждать проблему существования различных «партий» среди экспертов и обратим внимание на иные стороны процедур подбора экспертов.

В проблеме подбора экспертов можно выделить две составляющие — *составление списка возможных экспертов и выбор из них экспертной комиссии в соответствии с компетентностью кандидатов*.

Составление списка возможных экспертов облегчается, когда рассматриваемый вид экспертизы проводится многократно. В таких ситуациях обычно ведется *реестр* возможных экспертов, например в области государственной экологической экспертизы или судейства фигурного катания, из которого можно выбирать по различным критериям или с помощью датчика (или таблицы) псевдослучайных чисел.

Как быть, если экспертиза проводится впервые, устоявшиеся списки возможных экспертов отсутствуют? Однако и в этом случае у каждого конкретного специалиста есть некоторое представление о том, что требуется от эксперта в подобной ситуации. Для формирования списка есть полезный *метод «снежного кома»*. Это — вспомогательное экспертное исследование. Название связано с ассоциацией с известной всем процедурой, когда небольшой снежок много раз поворачивается по поверхности свежеевыпавшего снега. При каждом повороте на снежок налипает новый слой. В результате получается большой снежный ком.

Метод «снежного кома». В качестве затравки используется подобранная РГ небольшая (3-5 человек) группа потенциальных экспертов. В методе «снежного кома» от каждого специалиста, привлекаемого в качестве эксперта, получают определенное количество (обычно 5 — 10) фамилий тех, кто может быть экспертом по рассматриваемой тематике. Очевидно, некоторые из этих фамилий встречались ранее в деятельности РГ, а некоторые — новые. Каждого вновь появившегося опрашивают по той же схеме. Процесс расширения списка останавливается, когда новые фамилии практически перестают встречаться или когда список достигает необходимого размера. В результате получается достаточно обширный список возможных экспертов.

Рассмотрим условный пример. В качестве затравки РГ подобрала 5 потенциальных экспертов. Каждый из них назвал 10 новых фамилий. Всего РГ получила 50 фамилий. После исключения повторов и лиц, которые не смогут быть экспертами, в списке осталось 40%, то есть 20 новых фамилий. На следующем туре РГ получает суммарно 200 фамилий. Пусть из них только 30% тех, которые можно добавить к списку. Это 60 человек. При их опросе получаем 600 фамилий. Если из них только 20% реально добавляется к списку, то итог этого тура — 120 фамилий. Подведем итог. В списке уже $5 + 20 + 60 + 120 = 205$ фамилий. Можно остановиться, поскольку на основе этого списка, очевидно, можно сформировать ЭК (типовое число членов ЭК — от 10 до 30).

Метод «снежного кома» имеет и недостатки. Число туров до остановки процесса наращивания кома нельзя заранее предсказать. Нельзя априори надеяться, что в обозримой окрестности имеется достаточное число экспертов. Кроме того, ясно, что если на первом этапе все эксперты были из одного «клана», придерживались в чем-то близких взглядов или занимались сходной деятельностью, то и метод «снежного кома» даст, скорее всего, лиц из этого же «клана». Мнения и аргументы других «кланов» будут упущены.

Здесь речь идет о том, что сообщество специалистов реально разбито на группы, названные выше «кланами», и общение идет в основном внутри «кланов». Неформальная структура науки, к которой относятся «кланы», достаточно сложна для изучения. Отметим, что «кланы» обычно образуются на основе крупных формальных центров (вузов, научных институтов), научных школ [38, 119].

Компетентность экспертов. Вопрос об оценке компетентности экспертов не менее сложен. Ясно, что успешность участия в предыдущих экспертизах — хороший критерий для деятельности дегустатора, врача, судьи в спортивных соревнованиях, то есть таких экспертов, которые участвуют в длинных сериях однотипных экспертиз. Однако наиболее интересны и важны уникальные экспертизы больших проектов, не имеющих аналогов. Использование формальных показателей экспертов (должность, ученые степень и звание, стаж, число публикаций...) в современных быстро меняющихся условиях может носить лишь вспомогательный характер, хотя подобные показатели проще всего применять.

Часто предлагают использовать *методы самооценки и взаимооценки* компетентности экспертов. Обсудим их, начав с метода *самооценки*, при котором эксперт сам дает информацию о том, в каких областях он компетентен, а в каких — нет. С одной стороны, кто лучше может знать возможности эксперта, чем он сам? С другой стороны, при самооценке компетентности скорее оценивается степень самоуверенности эксперта, чем его реальная компетентность. Тем более что само понятие «компетентность» строго не определено. Можно его уточнять, выделяя составляющие, но при этом усложняется предварительная часть деятельности ЭК.

Достаточно часто эксперт преувеличивает свою реальную компетентность. Например, большинство людей считают, что они хорошо разбираются в политике, экономике, проблемах образования и воспитания, семьи и медицины. На самом деле экспертов (и даже знающих людей) в этих областях весьма мало.

Бывают отклонения и в другую сторону, излишне критичное отношение к своим возможностям. Нам известен доцент МГУ им. М.В. Ломоносова, написавший добротный университетский учебник по математической статистике, который заявляет, что он не является специалистом по математической статистике. Видимо, он признает себя специалистом лишь в той узкой научной области, которой посвящены его последние научные статьи. Подобный гиперкритицизм по отношению к себе представляется непродуктивным. Более естественной выглядит рекомендация проф. Е.С. Вентцель: «Если вы хотите изучить

какой-либо предмет, напишите по нему книгу». Действительно, при написании книги приходится разбираться в рассматриваемом вопросе и к концу составления текста становится высококвалифицированным специалистом-экспертом.

При использовании метода *взаимооценки*, когда оценку компетентности конкретного эксперта дают другие эксперты (или кандидаты в эксперты), помимо возможности проявления личностных и групповых симпатий и антипатий играет роль малая осведомленность экспертов о профессиональных возможностях друг друга. В современных условиях достаточно хорошее знакомство с работами и возможностями друг друга может быть лишь у специалистов, много лет (не менее 3–4) работающих совместно, в одной комнате, над одной темой. Именно про такие пары можно сказать, что они «*вместе пуд соли съели*». (По примерному расчету, если каждый рабочий день обедать вместе и солить блюда из одной солонки, пуд соли будет съеден за 3,5 года.) Однако привлечение таких пар специалистов в ЭК не очень-то целесообразно, поскольку их взгляды из-за схожести жизненного пути слишком похожи друг на друга.

Если процедура экспертного опроса предполагает непосредственное общение экспертов, необходимо учитывать еще ряд обстоятельств. Большое значение имеют их личностные (социально-психологические) качества. Так, один-единственный «*говорун*» может парализовать деятельность всей комиссии на совместном заседании. К срыву могут привести и неприязненные отношения членов комиссии, и сильно различающийся научный и должностной статус членов комиссии. В подобных случаях важно соблюдение регламента работы, разработанного РГ.

Подбор экспертов — одна из основных функций РГ, и никакие методики подбора не снимают с нее ответственности. На РГ лежит ответственность за компетентность экспертов, за их принципиальную способность решить поставленную задачу. Важным является требование к ЛПР об утверждении списка экспертов. При этом ЛПР может как добавить в комиссию отдельных экспертов, так и вычеркнуть некоторых из них — по собственным соображениям, с которыми членам РГ и ЭК знакомиться нет необходимости.

Нормативное регулирование состава экспертов. Существует ряд нормативных документов, регулирующих деятельность экспертных комиссий в тех или иных областях. Примером является Закон Российской Федерации «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995, в котором регламентируется процедура экспертизы «намечаемой хозяйственной или иной деятельности» с целью выявления возможно-

го вреда, который может нанести окружающей природной среде рассматриваемая деятельность. В этом законе указаны дополнительные требования к экспертам, призванные обеспечить их независимость от внешних влияний. Так, в статье 16, часть 2, сказано:

«Экспертом государственной экологической экспертизы не может быть представитель заказчика документации, подлежащей государственной экологической экспертизе, или разработчика объекта государственной экологической экспертизы, гражданин, состоящий в трудовых или иных договорных отношениях с указанным заказчиком или с разработчиком объекта государственной экологической экспертизы, а также представитель юридического лица, состоящего с указанным заказчиком или с разработчиком объекта государственной экологической экспертизы в таких договорных отношениях».

Используется и принципиально иной подход к подбору экспертов, согласно которому совокупность экспертов состоит из тех, кто сам себя объявил таковыми. Примерами являются разнообразные опросы, приводимые в Интернете и регулярно публикуемые на сайте <http://rbc.ru> (РБК — РИА «РосБизнесКонсалтинг») и <http://voxru.net> (Глас РУНЕТа — служба опросов интернет-аудитории). В отличие от метода самооценки, здесь требуется и волевой импульс от эксперта — решение об участии в опросе. В случаях, когда какие-либо материалы предлагаются к обсуждению, от самовывдвинувшихся экспертов получают ответы на открытые вопросы (а не на закрытые, как в случае опросов РБК). Письма и обращения, поступающие самотеком в средства массовой информации и в государственные органы, также можно рассматривать в рамках теории экспертных оценок. Однако распределение самовывдвинувшихся экспертов по социально-экономическим группам (например, по полу и возрасту) обычно существенно отличается от того, которое имеется в обществе. Частично от этого смещения можно избавиться с помощью методов стандартизации («ремонта») выборки, разработанных в эконометрике и прикладной статистике [76, 92].

2.7. О ВЫБОРЕ ЦЕЛИ ЭКСПЕРТИЗЫ

В настоящее время *не существует* общепринятой научно обоснованной классификации методов экспертных оценок и тем более — однозначных рекомендаций по их применению. *Попытка силой утвердить одну из возможных точек зрения на классификацию методов экспертных оценок может принести лишь вред.*

Однако для рассказа о многообразии экспертных оценок необходима какая-либо рабочая классификация методов. Одну из таких возможных классификаций даем ниже, перечисляя основания, по которым делим методы экспертных оценок.

Один из основных вопросов — что именно должна представить экспертная комиссия в результате своей работы — информацию для принятия решения ЛПР или проект самого решения? От ответа на этот методологический вопрос зависит организация работы ЭК, и он служит первым основанием для разбиения методов.

Цель — сбор информации для ЛПР. Тогда РГ должна собрать как можно больше относящейся к делу информации, аргументов «за» и «против» определенных вариантов решений. Полезен следующий метод постепенного увеличения числа экспертов. Сначала первый эксперт приводит свои соображения по рассматриваемому вопросу. Составленный им материал передается второму эксперту, который добавляет свои аргументы. Накопленный материал поступает к следующему — третьему — эксперту, а также и к первому, который имеет возможность дополнить свою аргументацию... Процедура заканчивается, когда иссякает поток новых соображений.

Эксперты в рассматриваемом методе только поставляют информацию, аргументы «за» и «против», но не вырабатывают согласованного проекта решения. Нет никакой необходимости стремиться, чтобы экспертные мнения были согласованы между собой. Более того, наибольшую пользу приносят эксперты с мышлением, отклоняющимся от массового (среднестатистического), то есть инакомыслящие (диссиденты). Именно от них следует ожидать наиболее оригинальных аргументов.

Цель — подготовка проекта решения для ЛПР. Основная задача при этом — разработка (формулировка, получение) коллективного мнения ЭК. Математические методы анализа экспертных оценок применяются обычно именно для решения задач, связанных с подготовкой проекта решения. При этом зачастую некритически принимают догмы согласованности и одномерности. Эти догмы «кочуют» из одной публикации в другую, поэтому целесообразно их обсудить.

Догма согласованности. Часто без всяких обоснований считается, что решение может быть принято лишь на основе согласованных мнений экспертов. Поэтому исключают из экспертной группы тех, чье мнение отличается от мнения большинства. При этом отсеиваются как неквалифицированные лица, попавшие в состав экспертной комиссии по недоразумению или по соображениям, не имеющим отношения к их профессиональному уровню, так и наиболее оригинальные мыслители, глубже проникшие в проблему, чем большинство. Следо-

вало бы выяснить их аргументы, предоставить им возможность для обоснования их точек зрения. Вместо этого их мнением пренебрегают.

Бывает и так, что эксперты делятся на две или более групп, имеющих единые *групповые* точки зрения. Так, известен пример деления специалистов (членов Ученого совета НИИ) при оценке результатов научно-исследовательских работ на две группы: «теоретиков», явно предпочитающих НИР, в которых получены теоретические результаты, и «практиков», выбирающих те НИР, которые позволяют получать непосредственные прикладные результаты. Поэтому при голосовании с целью выявления лучшей научно-исследовательской работы за год результат зависел не от рассматриваемых работ, а от численности представителей групп «теоретиков» и «практиков», присутствующих на заседании.

Иногда заявляют, что в случае обнаружения двух или нескольких групп экспертов (вместо одной согласованной во мнениях) опрос не достиг цели. Это не так! *Цель достигнута — установлено, что единого мнения нет.* Это весьма важно. И ЛПР при принятии решений должен это учитывать. Стремление обеспечить согласованность мнений экспертов любой ценой может приводить к сознательному одностороннему подбору экспертов, игнорированию всех точек зрения, кроме одной, наиболее полюбившейся рабочей группе (или даже «подсказанной» ЛПР).

Правильное решение было принято руководством НИИ после обнаружения отсутствия единомыслия среди членов Ученого совета: вместо одной премии стали присуждать две — отдельно за теоретические работы и отдельно за прикладные.

Часто не учитывают еще одного чисто математико-статистического обстоятельства. Поскольку число экспертов обычно не превышает 20–30, то формальная статистическая согласованность мнений экспертов (установленная с помощью тех или иных критериев проверки статистических гипотез) может сочетаться с реально имеющимся разделением экспертов на группы, что делает дальнейшие расчеты не имеющими отношения к действительности. Для примера укажем на конкретные методы расчетов с помощью коэффициентов конкордации (в переводе — согласия) на основе коэффициентов ранговой корреляции Кендалла или Спирмена. Согласно математико-статистической теории положительный результат проверки согласованности таким способом означает ни больше, ни меньше, как отклонение гипотезы о независимости и равномерной распределенности мнений экспертов на множестве всех ранжировок. Таким образом, проверяется нулевая гипотеза, согласно которой ранжировки, описывающие мнения экспертов, явля-

ются независимыми случайными бинарными отношениями, равномерно распределенными на множестве всех ранжировок. Отклонение этой нулевой гипотезы по дурной традиции толкуется как согласованность ответов экспертов. Мы падаем жертвой заблуждений, вытекающих из своеобразного толкования слов: проверка согласованности в указанном математико-статистическом смысле вовсе не является проверкой согласованности в смысле практики экспертных оценок. (Именно ущербность рассматриваемых математико-статистических методов анализа ранжировок привела группу специалистов к разработке нового математико-статистического аппарата для проверки согласованности — непараметрических методов, основанных на т.н. *люсианах* [76, 92] и входящих в современный раздел эконометрики — *статистику нечисловых данных*). Невозможность получения обоснованного заключения о согласованности мнений экспертов по ограниченным данным можно сопоставить с невозможностью проверки нормальности теоретического распределения в случае, когда объем выборки менее 50 (это утверждение подробно обосновано в статье [113]).

Группы экспертов с близкими мнениями можно выделить методами кластер-анализа [76].

Мнения диссидентов. С целью искусственно добиться согласованности стараются уменьшить влияние мнений экспертов-диссидентов, то есть инакомыслящих по сравнению с большинством. Жесткий способ борьбы с диссидентами состоит в игнорировании их мнений, то есть фактически в их исключении из состава экспертной комиссии. Отбраковка экспертов, как и отбраковка резко выделяющихся результатов наблюдений (выбросов), приводит к процедурам, имеющим плохие или неизвестные статистические свойства. Так, известна крайняя неустойчивость классических методов отбраковки выбросов по отношению к отклонениям от предпосылок модели (см., например, учебник [76]).

Мягкий способ борьбы с диссидентами состоит в применении *робастных (устойчивых) статистических процедур*. Простейший пример: если ответ эксперта — действительное число, то резко выделяющееся мнение диссидента сильно влияет на среднее арифметическое ответов экспертов и не влияет на их медиану. Поэтому разумно в качестве согласованного мнения рассматривать медиану. Однако при этом игнорируются (не достигают ЛПР) оценки и аргументы диссидентов. Другой пример — принятие решений при судействе в фигурном катании, когда с целью повышения устойчивости выводов жюри отбрасываются минимальная и максимальная из оценок судей.

В любом из двух способов борьбы с диссидентами ЛПР лишается информации, идущей от диссидентов, а потому может принять необосно-

ванное решение, которое впоследствии приведет к отрицательным последствиям. С другой стороны, представление ЛПР всего набора мнений снимает часть ответственности и труда по подготовке окончательного решения с комиссии экспертов и рабочей группы по проведению экспертного опроса и перекладывает эту ответственность и труд на плечи ЛПР.

Догма одномерности. В устаревшей, а иногда и в современной научно-технической, управленческой и экономической литературе распространен довольно спорный подход «квалиметрии», согласно которому объект экспертизы всегда можно оценить *одним числом*. Странная идея! *Оценивать человека одним числом приходило в голову лишь на невольничьих рынках.* Вряд ли даже самые рьяные квалиметристы рассматривают книгу или картину как эквивалент числа — ее «рыночной стоимости». Практически все реальные объекты достаточно сложны, а потому сколько-нибудь точно описать их можно лишь с помощью многих и многих чисел, а также математических объектов нечисловой природы. Жизнь, в том числе экономическая, многомерна, а не одномерна!

Вместе с тем нельзя полностью отрицать саму идею поиска обобщенных показателей качества, технического уровня, конкурентоспособности и аналогичных. Так, каждый объект можно оценивать по многим показателям качества. Например, легковой автомобиль можно оценивать по таким показателям и группам показателей:

- расход бензина на 100 км пути (в среднем);
- надежность (в том числе число отказов и средняя стоимость ремонта за год);
- безопасность эксплуатации;
- экологическая безопасность, оцениваемая по содержанию вредных веществ в выхлопных газах;
- легкость в управлении;
- маневренность (в том числе радиус поворота);
- быстрота набора заданной скорости (например, 100 км/ч) после начала движения;
- максимальная достигаемая скорость;
- длительность сохранения в салоне положительной температуры при низкой наружной температуре (например, минус пятьдесят градусов по Цельсию) и выключенном двигателе;
- эстетичность (дизайн, привлекательность и «модность» внешнего вида автомобиля и отделки салона);
- вес и т.д.

Можно ли свести оценки по этим показателям вместе? Ясно, что определяющей является конкретная ситуация, для которой выбирается автомашина. Максимально достигаемая скорость важна для гонщика, но,

как нам представляется, не имеет большого практического значения для водителя рядовой частной машины, особенно в городе с суровым ограничением на максимальную скорость. Для такого водителя важнее расход бензина, маневренность и надежность. Для машин различных служб спасения и государственного управления, видимо, надежность важнее, чем для частника, а расход бензина — наоборот. Для районов Крайнего Севера важна теплоизоляция салона, а для центральных районов — нет. И т.д.

Таким образом, важна конкретная (узкая) постановка задачи перед экспертами. Но такой постановки зачастую нет. А тогда «игры» по разработке обобщенного показателя качества — например, в виде линейной функции от перечисленных переменных — не могут дать объективных выводов. Альтернативой единственному обобщенному показателю является математический аппарат типа *многокритериальной оптимизации* — множества Парето и т.д.

В некоторых случаях все-таки можно глобально сравнить объекты — например, с помощью тех же экспертов получить упорядочение рассматриваемых объектов — изделий или проектов. Тогда можно **по-добрать** коэффициенты при отдельных показателях так, чтобы упорядочение с помощью линейной функции как можно точнее соответствовало глобальному упорядочению (например, найти эти коэффициенты методом наименьших квадратов). В подобных случаях **не следует** оценивать указанные коэффициенты с помощью экспертов. Эта простая идея до сих пор не стала очевидной для отдельных составителей методик по проведению экспертных опросов и анализу их результатов. Они упорно стараются заставить экспертов делать то, что они качественно выполнить *не в состоянии* — указывать веса, с которыми отдельные показатели качества должны входить в итоговый обобщенный показатель.

Эксперты обычно могут сравнить объекты или проекты в целом, но не могут вычленить вклад отдельных факторов. Раз организаторы опроса спрашивают, эксперты отвечают, но эти ответы не несут в себе надежной информации о реальности.

2.8. ОСНОВАНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ

Первому основанию — *цели экспертизы* — посвящен предыдущий раздел. Экспертные методы делятся на два класса в соответствии с ответом на вопрос: «Что именно должна представить экспертная комиссия в результате своей работы — информацию для принятия решения ЛПР или проект самого решения?»

Рассмотрим еще четыре основания.

Число туров. Второе основание классификации экспертных процедур — число туров. Экспертизы могут включать один тур, некоторое фиксированное число туров (два, три, ...) или неопределенное число туров.

Экспертиза в один тур предполагает, что эксперты не обмениваются информацией, поскольку не общаются друг с другом. Технология такой экспертизы напоминает технологии маркетинговых и социологических выборочных обследований. Это наиболее быстрая и дешевая технология, но и в наименьшей степени использующая творческие способности экспертов, а потому дающая наименьшие полезные результаты.

Наличие нескольких туров предполагает, что эксперты получают информацию друг от друга, обрабатывают ее, получают новое знание и в соответствии с ним корректируют свои выводы. Чем больше туров, тем более тщательным является анализ ситуации. Эксперты при этом обычно много раз возвращаются к рассмотрению предмета экспертизы. Но одновременно увеличивается общее время на экспертизу и возрастает ее стоимость.

Наибольшие сложности вызывают процедуры с неопределенным заранее числом туров, например «снежный ком». Часто задают максимально возможное число туров, и тогда неопределенность сводится к тому, придется ли проводить это максимальное число туров или удастся ограничиться меньшим числом.

Порядок вовлечения экспертов. Можно уменьшить расходы, вводя в экспертизу не всех экспертов сразу, а постепенно. Например, если цель состоит в сборе аргументов «за» и «против», то первоначальный перечень аргументов может быть составлен одним экспертом. Второй добавит к нему свои аргументы. Суммарный материал поступит к первому и третьему, которые внесут свои аргументы и контраргументы. И так далее — добавляется по одному эксперту на каждый новый тур.

Итак, экспертные процедуры можно классифицировать на основании того, как эксперты вовлекаются в работу — одновременно или последовательно. Первый вариант — более быстрый, но и более затратный (дорогой), второй — дешевле, но дольше.

Организация общения экспертов. Четвертое основание классификации экспертных процедур — способ организации общения экспертов. Рассмотрим достоинства и недостатки каждого из элементов шкалы: отсутствие общения — заочное анонимное общение — заочное общение без анонимности — очное общение с ограничениями — очное общение без ограничений.

При отсутствии общения эксперт высказывает свое мнение, ничего не зная о других экспертах и об их мнениях. Он полностью независим, что и хорошо, и плохо. Обычно такая ситуация соответствует однотуровой экспертизе.

Заочное анонимное общение, например как в методе Дельфи, означает, что эксперт знакомится с мнениями и аргументами других экспертов, но не знает, кто именно высказал то или иное положение. Следовательно, в экспертизе должно быть предусмотрено хотя бы два тура.

Заочное общение без анонимности соответствует, например, общению по Интернету. Все варианты заочной экспертизы хороши тем, что нет необходимости собирать экспертов вместе, следовательно, находить для этого удобное время и место. В будущем с распространением телеконференций грань между очным и заочным общением экспертов начнет стираться.

Заочное общение без анонимности соответствует также многим реальным процедурам принятия управленческих решений. Координация действий организаций и менеджеров с помощью этого типа общения происходит и при подготовке документов — планов, приказов, предложений, направляемых в другие организации, ответов на распоряжения и запросы властей и др. Управленческие решения обычно оформляются в виде подобных документов.

Обычно один из сотрудников — назовем его исполнителем — готовит первоначальный вариант документа, который размножается и рассылается на отзыв заинтересованным в нем менеджерам, а иногда и в другие организации. Исполнитель составляет сводку отзывов, с одними из замечаний соглашается, против других высказывает возражения. Затем собирают т.н. согласительное совещание, на которое приглашают всех тех, с чьим мнением исполнитель не согласен. В результате дискуссии по ряду позиций достигается компромисс, и возражения снимаются. Окончательное решение по проекту документа с учетом оставшихся возражений принимает ЛПР, например генеральный директор или совет директоров, то есть высшая инстанция в данной организации. Именно такова процедура подготовки Законов РФ, государственных стандартов и иных ответственных документов.

Во многих случаях эта процедура упрощается и отзывы заменяются *визированием*, при котором свое согласие менеджеры выражают, наклеивая на документ визу, то есть расписываясь (иногда добавляя несколько слов по затрагиваемой проблеме). Например, подготовленное для отправки в другую организацию письмо или приказ по организации визируют руководители нескольких отделов, и генеральный директор его подписывает от имени фирмы, не вникая в суть (поскольку каждый

день он подписывает десятки писем и приказов, то вникать некогда). Адресату уходит письмо, на обратной стороне которого указаны фамилия и телефон исполнителя (поскольку адресат тоже хорошо знаком с процедурой подготовки документов, он понимает, что по конкретным вопросам надо обращаться к исполнителю, а не к генеральному директору). В архиве фирмы остается письмо с визами, так что в случае необходимости легко выяснить, кто составил и одобрил документ.

Как ясно из сказанного выше, заочные экспертизы часто используются совместно с очными.

При очных экспертизах эксперты говорят, а не пишут, как при заочных, и потому успевают за то же потраченное время сообщить существенно больше. *Очная экспертиза с ограничениями* весьма распространена. Это — собрание, идущее по фиксированному регламенту. Примером является военный совет в императорской русской армии, когда эксперты (офицеры и генералы) высказывались в фиксированном порядке от младшего (по чину и должности) к старшему. Другой пример — разработка и принятие решений в Государственной Думе Российской Федерации в соответствии с регламентом, определяющим последовательность и продолжительность выступлений на заседаниях комиссий, комитетов, других структур, на пленарных заседаниях. Вспомним также технологию «мозгового штурма».

Наконец, *очная экспертиза без ограничений* — это свободная дискуссия.

Все очные экспертизы имеют недостатки, связанные с возможностями отрицательного влияния на их проведение социально-психологических свойств и клановых (партийных) пристрастий участников, а также неравенства их профессионального, должностного, научного статусов. Представьте себе, что соберутся вместе 5 лейтенантов и 3 генерала. Независимо от того, какая информация имеется у того или иного участника встречи, ход ее предсказать нетрудно: генералы будут беседовать, а лейтенанты — помалкивать. При этом вполне очевидно, что лейтенанты получили образование позже генералов, а потому обладают полезной информацией, которой нет у генералов.

Веса экспертов. Пятое основание классификации экспертных процедур — по способам введения весов для мнений экспертов. Простейший способ — все эксперты равноправны, при голосовании по отдельным положениям разрабатываемого решения имеют по одному голосу.

Часто вводят понятия решающего голоса и совещательного голоса. Например, при защите дипломного проекта члены Государственной аттестационной комиссии (ГАК) имеют решающие голоса, а все остальные участники заседания — совещательные. В Федеральном

законе «Об экологической экспертизе» (1995) подробно расписано, представители каких организаций и структур управления могут присутствовать на заседании экспертной комиссии государственной экологической экспертизы с правом совещательного голоса.

В регламент принятия решений иногда включают положение, согласно которому при делении голосов ровно пополам принимается мнение той половины, к которой относится председатель ЭК. Это означает, что вес голоса председателя на бесконечно малую величину больше веса рядового эксперта. Впрочем, иногда председателю дают два голоса.

При голосованиях на собраниях акционеров вес каждого эксперта (участника заседания) определяется числом акций, которыми он распоряжается.

Комбинация различных видов экспертизы. Реальные экспертизы часто представляют собой комбинации различных описанных выше типов экспертиз. В качестве примера рассмотрим защиту студентом дипломного проекта. Сначала идет многотуровая очная экспертиза, проводимая научным руководителем и консультантами, в результате студент подготавливает проект к защите. Затем два эксперта работают заочно — это автор отзыва сторонней организации и заведующий кафедрой, допускающий работу к защите. Обратите внимание на различие задач этих экспертов и объемов выполняемой ими работы — один пишет подробный отзыв, второй росписью на титульном листе проекта разрешает его защиту. Наконец — очная экспертиза без ограничений (для членов ГАК — Государственной аттестационной комиссии). Дипломный проект оценивается коллегиально, по большинству голосов, при этом один из экспертов (научный руководитель) знает работу подробно, а остальные — в основном лишь по докладу. Мнения экспертов учитываются с весами, а именно: мнения членов ГАК — с весом 1, мнения всех остальных — с весом 0 (совещательный голос). Таким образом, имеем сочетание многотуровой и однотуровой, заочных и очных экспертиз. Подобные сочетания характерны для многих реально проводящихся экспертиз.

2.9. ИНТУИЦИЯ ЭКСПЕРТА И КОМПЬЮТЕР

Обсудим две, казалось бы, далекие друг от друга, но на самом деле тесно связанные между собой темы — роль интуиции эксперта в экспертизе и применение вычислительной техники в технологиях экспертных исследований.

Интуиция эксперта. Примером хорошего эксперта служит врач, чьи диагнозы чаще, чем у его коллег, оправдываются при вскрытии. Дело

в том, что только посмертное вскрытие позволяет патологоанатому дать достоверное заключение о том, чем болел пациент, и правильно ли его лечили. Хотя это достоверное заключение уже не может принести пользы пациенту, его можно применить для оценки профессиональных возможностей врача и корректировки лечебных технологий. Причем, чем лучше врач, тем дольше придется ждать подтверждения его высокого профессионализма.

С целью создания систем компьютерной диагностики математики пытались выяснить, как работают выдающиеся врачи [14]. Для этого их просили описать используемые ими в лечебной работе методы умозаключений. Практикующие врачи приводили примерно те же формулировки, что и авторы медицинских учебников. И это вполне естественно. Однако при попытках применить сформулированные таким путем правила для диагностики вновь поступающих пациентов качество принимаемых врачебных решений резко ухудшалось — вплоть до уровня рядового выпускника мединститута. Таким образом, оказалось, что выдающиеся врачи не в состоянии описать, как именно они работают. При попытке вербализации процесса диагностики интуиция исчезала, а вместе с ней — и отличие высококвалифицированного эксперта от рядового специалиста.

Важную роль интуиции в работе эксперта трудно, а точнее, практически невозможно промоделировать математически. Как следствие, нельзя и мечтать о замене экспертных оценок компьютерными расчетами. Экспертиза — это творчество.

Роль интуиции весьма велика в различных творческих профессиях. Например, математическое творчество, по свидетельству выдающегося французского математика Ж. Адамара, основано на интуиции [1].

Экспертные оценки и экспертные системы. Хотя названия этих двух научно-практических дисциплин похожи, различие между ними колоссально. Теория экспертных оценок — это наука о методах сбора и анализа мнений людей (экспертов), опирающихся на свою интуицию. Экспертная система — это программа для компьютера, которая оперирует со знаниями в определенной предметной области с целью выработки практических рекомендаций для решения возникших проблем [120]. Значит, в экспертных системах не участвуют живые люди, есть только ранее полученные знания — результат прошлой деятельности специалистов. При формализации знаний невозможно учесть интуицию экспертов. Однако компьютерной обработке может быть подвергнут огромный объем знаний, что человек сделать не в состоянии.

Сравнительные возможности живых экспертов и экспертных систем видны при сопоставлении шахматистов и шахматных программ.

Люди опираются на интуицию, а компьютеры — на расчеты. Результат известен — за пятьдесят лет компьютеры достигли уровня гроссмейстеров.

Однако речь идет об анализе довольно простой игры — шахматные правила изложены на нескольких страницах, и они строго выполняются. Реальные ситуации гораздо сложнее, и самое интересное — правила игры могут меняться.

В настоящее время экспертные системы, как и другие достижения искусственного интеллекта — помощники человека. Например, на рыболовном судне или в отдаленном поселении целесообразно иметь экспертную систему неотложной медицинской помощи. Она позволит сохранить жизнь пострадавшему, пока не появится врач. Врачу она тоже поможет — для различных справок. Но лечить будет именно врач.

В обозримом будущем та или иная рутинная работа будет передаваться компьютерным системам. Например, составление бухгалтерского баланса. Но за человеком всегда останется целеполагание. Компьютер, в отличие от человека, не может знать, чего он хочет.

Эксперт и компьютер. Обсудим разные варианты взаимодействия живых экспертов и компьютерных систем.

1. Эксперту нужна различная справочная информация, и наиболее быстро он может ее получить с помощью компьютера. Так, всемирная сеть Интернет — хороший помощник эксперта. К сожалению, в Сети циркулирует масса ошибочных сведений. Но ведь и информация, полученная из книг или от людей, не всегда достоверна.

2. Быстрая электронная связь с организаторами экспертизы, с другими экспертами, возможность удаленного общения (чаты, телеконференции и другие формы) резко повышают эффективность экспертной работы.

3. Автоматизированное рабочее место (АРМ) эксперта (например, АРМ МАТЭК (математика в экспертизе) [45, 138]) обеспечивает как сбор экспертной информации, так и ее анализ с помощью разнообразных математических методов.

4. Экспертные процедуры могут многократно использоваться на различных этапах процесса принятия решений, например для оценки значений признаков, описывающих объекты, или для оценки коэффициентов важности (весомости) самих признаков. При этом процесс принятия решений опирается на ту или иную форму компьютерной поддержки.

5. Интегрированные системы принятия решений включают в себя разнообразные базы данных и знаний, автоматизированные места лиц, принимающих решения, экспертов и сотрудников группы сопро-

вождения, блоки имитационных, экономико-математических и иных компьютерных моделей (в том числе блоки соответствующих экспертных систем). Такие системы действуют в составе аналитических центров крупных организационных структур, например в Администрации Президента РФ, Центре управления полетами космических аппаратов, в штабах высокого уровня Вооруженных сил или в руководящих структурах транснациональных корпораций.

В качестве примера рассмотрим подробнее АРМ МАТЭК (математика в экспертизе) [45, 138]).

Автоматизированное рабочее место МАТЭК (МАТЕматические методы в ЭКспертных оценках). Разработано и применяется весьма большое число методов (и особенно их разновидностей) организации и проведения экспертных исследований. Для решения конкретной задачи можно использовать, как правило, не один, а много методов, и выбор наиболее подходящего из них лежит на организаторах экспертизы. (Попытки стандартизовать правила принятия подобных решений в настоящее время рассматриваются как нецелесообразные — таков один из результатов развития стандартизации в нашей стране и в мире в последние десятилетия, начиная с 70-х гг.) АРМ «МАТЭК» предоставляет организаторам экспертизы большие возможности для выбора тех или иных методов планирования, организации, проведения экспертизы, анализа экспертных оценок, обеспечивает необходимую компьютерную поддержку в проведении экспертного исследования.

АРМ «МАТЭК» предназначено для подготовки и проведения экспертизы по определенной теме. С помощью АРМ «МАТЭК» можно автоматизировать процесс подбора экспертов, работу комиссии экспертов и анализ экспертных мнений, а также подготовку опросных листов, бланков и всей отчетной документации.

Работа на АРМ в соответствии с методологией работы [93] состоит из двух частей:

А. Подготовка экспертизы.

В. Проведение экспертизы.

Этап А подготовки экспертизы включает в себя ввод всей информации, необходимой для проведения экспертизы. Итогом этого этапа являются два документа: «Техническое задание» (ТЗ) и «Сценарий».

Рассмотрим **этап А** подробнее. Сначала ЛПР должен сформулировать цель экспертизы, сформировать руководство РГ.

Далее к работе приступает РГ. Ее руководитель должен ввести данные для формирования документа ТЗ. Затем собираются данные для компоновки документа «Сценарий».

РГ может включать в себя руководителя, группу обработки, группу связи и интервьюеров.

Данные для документа ТЗ следующие: основание для проведения экспертизы, задачи экспертных опросов, сформулированные в соответствии с целью экспертизы, требования к ЭК, опросному листу, сроки выполнения экспертизы и порядок контроля за ними, финансовое обеспечение проекта.

В зависимости от того, введены или нет те или иные данные для ТЗ, они соответственно будут или не будут включены в документ ТЗ. Последний можно просмотреть на экране и распечатать.

Данные для документа «Сценарий» следующие: вводный текст (в этом тексте должна содержаться собственно последовательность действий при проведении экспертизы), календарный план (КП), список используемых методов анализа экспертных мнений (ЭМ). Как и при формировании ТЗ, «Сценарий» может иметь разную структуру, в зависимости от того, какие пункты будут в него включены. Как приложение к «Сценарию» могут быть использованы примеры бланков опросных листов, анкеты «Согласие» (для выявления согласия экспертов участвовать в экспертизе), анкеты «Снежный ком», «Взаимооценка» (если соответствующие этапы включены в КП). Для этих бланков также требуется ввести оповещение (либо выбрать стандартное). Документ «Сценарий» можно просмотреть на экране и распечатать.

При формировании «Сценария» будет сформирован опросный лист экспертизы. Опросный лист состоит из оповещения (стандартного или оригинального — по выбору РГ) и собственно вопросов. Вопросы группируются по задачам из ТЗ. При формулировке вопросов учитывается список методов обработки ответов. Точнее, пользователь, сформулировав вопрос, должен точно знать формат ответа. Для каждого формата ответа в АРМ предусмотрен список методов обработки ответов (краткое описание каждого из них можно будет просмотреть при выборе метода). Если пользователя не устраивает ни один из этих методов, он должен будет переформулировать вопрос (то есть изменить формат ответа) так, чтобы в списке соответствующих методов оказался подходящий ему. Тем самым при формировании опросного листа будет одновременно сформулирован список используемых методов анализа экспертных мнений (ЭМ).

Этап В проведения экспертизы недоступен до тех пор, пока не будет завершен этап подготовки экспертизы. После того как подготовка создана, можно запустить или открыть проведение экспертизы. Тем самым возможно проведение нескольких экспертиз с одной и той же

подготовкой (для каждой экспертизы выделяется собственная, идентифицируемая по названию экспертизы, база данных).

На этапе проведения экспертизы формируется ЭК, проводится сбор и анализ ЭМ, формируется отчет и заключение для ЛПР.

Формирование ЭК — многоступенчатый процесс. Сначала член РГ (руководитель) в соответствии с информацией об экспертах из БДЭ (базы данных об экспертах) может отобрать подходящих кандидатов в ЭК. Далее с помощью анкеты «Согласие» из этого списка отбираются согласившиеся быть членами ЭК. Два последних шага могут проводиться или нет, в зависимости от того, включены ли они в КП. Это этапы «Снежный ком» и «Взаимооценка».

После того как сформирован ЭК, можно проводить сбор экспертных мнений (ЭМ). Это осуществляется с помощью бланка вопросника. ЭМ будут храниться так, чтобы доступ к ним был удобен (то есть по любому эксперту и любому вопросу можно было получить ответ, и т.д.). Анализ ЭМ по каждому вопросу проводится методом, выбранным пользователем АРМ (руководителем РГ) на этапе подготовки экспертизы для этого вопроса.

По всем предыдущим этапам формируются отчеты, из которых в результате получается общий отчет о проведении экспертизы. В соответствии с задачами из ТЗ формируется заключение для ЛПР.

В соответствии с КП ведется контроль за сроками проведения экспертизы.

Ведется протокол экспертизы, то есть при выходе из системы фиксируется текущее состояние этапа проведения экспертизы, и при открытии данной экспертизы происходит возврат именно на тот этап экспертизы, на котором произошел выход из системы. (На этапе подготовки экспертизы протокол не ведется.)

Разграничены права доступа к БДЭ (база данных экспертов), ЭМ и результатам обработки ЭМ.

На этом заканчивается «гуманитарная» часть обсуждения теории и практики экспертных оценок. Конкретные методы сбора и анализа экспертной информации рассмотрены в дальнейших главах учебника с привлечением современного математического аппарата.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите примеры индивидуальных экспертных оценок.
2. Почему необходима формализованная карта оценки объекта экспертизы?
3. Приведите примеры коллективных экспертных оценок.
4. Расскажите о задачах выбора вариантов с помощью экспертов.

5. Почему большое внимание уделяют регламенту проведения экспертных исследований?
6. Опишите метод Дельфи экспертного прогнозирования.
7. Расскажите о методе сценариев.
8. Что такое «мозговой штурм»?
9. В каких конкретных областях используют методы экспертных оценок?
10. Расскажите об основных стадиях экспертного опроса.
11. Почему сценарий проведения сбора и анализа экспертных мнений необходимо разрабатывать до подбора экспертов?
12. Что такое «метод снежного кома»?
13. Как выбор цели экспертизы влияет на экспертные технологии?
14. Какова роль диссидентов в комиссии экспертов в зависимости от регламента сбора и анализа экспертных мнений?
15. По каким основаниям классифицируют экспертные методы?
16. Чем отличаются экспертные оценки и экспертные системы?
17. Какова роль компьютеров в экспертных технологиях?

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Индивидуальное экспертное оценивание (на примере работы преподавателя).
2. Варианты коллективного экспертного оценивания в медицине.
3. Робастное оценивание в экспертизе.
4. Экспертные технологии распределения финансирования.
5. Технологии экспертного прогнозирования.
6. Метод сценариев и экспертная оценка рисков в инвестиционном менеджменте.
7. Экспертные технологии в технико-экономическом анализе.
8. Статистика нечисловых данных в оценочных экспертизах.
9. Управленческие экспертизы в контроллинге.
10. Роль ЛПР в организации экспертного исследования.
11. Внутренняя структура рабочей группы экспертного исследования.
12. Типовые сценарии проведения сбора и анализа экспертных мнений.
13. Требования к экспертам, зафиксированные в действующем законодательстве.
14. Уголовная, административная, материальная и гражданско-правовая ответственность экспертов.
15. Сравнительный анализ методов самооценки и взаимооценки.

16. Догма согласованности.
17. Догма одномерности.
18. Подходы к выбору способа организации общения экспертов.
19. Роль интуиции в экспертизе.
20. Проектирование автоматизированных рабочих мест экспертов и членов РГ (группы сопровождения).

Глава 3

МЕТОДЫ СРЕДНИХ РАНГОВ

Познакомимся с часто используемым видом экспертных оценок — методами средних рангов. Разберем метод средних арифметических рангов, метод медианных рангов и метод согласования ранжировок (упорядочений), полученных с помощью нескольких экспертных процедур.

3.1. ЭКСПЕРТНЫЕ РАНЖИРОВКИ

Современная теория измерений и экспертные оценки. Как проводить анализ собранных рабочей группой ответов экспертов? Для более углубленного рассмотрения проблем экспертных оценок понадобятся некоторые понятия *теории измерений* (см. главу 4), служащей основой теории экспертных оценок, прежде всего той ее части, которая связана с анализом заключений экспертов, выраженных в качественном (а не в количественном) виде. Теория измерений интересует нас, в частности, в связи с агрегированием мнений экспертов, построением обобщенных показателей (их называют также рейтингами).

Получаемые от экспертов мнения часто выражены в *порядковой шкале*, то есть эксперт может сказать (и обосновать): что определенный тип продукции будет более привлекателен для потребителей, чем иные; что один показатель качества продукции важнее, чем другой; первый технологический объект опаснее, чем второй, и т.д. Но он не в состоянии сказать, *во сколько раз* или *на сколько* более важен, соответственно, более опасен. Поэтому экспертов часто просят дать ранжировку (упорядочение) объектов экспертизы, то есть расположить их в порядке возрастания (или, точнее, неубывания) интенсивности интересующей организаторов экспертизы характеристики.

Ранжировки определяются и изучаются с помощью рангов. **Ранг** — это номер (объекта экспертизы) в упорядоченном ряду. Формально ранги выражаются числами 1, 2, 3, ..., но весьма важно то, что с этими числами нельзя делать привычные арифметические операции. Например, хотя $1 + 2 = 3$, но нельзя утверждать, что для объекта, стоящего

на третьем месте в упорядочении (в другой терминологии — ранжировке), интенсивность изучаемой характеристики равна сумме интенсивностей объектов с рангами 1 и 2. Так, один из видов экспертного оценивания — оценки достижений спортсменов. Разве можно сказать, что спортсмен, занявший третье место, достиг того же, что и спортсмены, занявшие первое и второе места, вместе взятые? Поэтому очевидно, что для анализа подобного рода качественных данных необходима не обычная арифметика, а другая теория, дающая базу для разработки, изучения и применения конкретных методов расчета. Эта другая теория и есть теория измерений (ТИ). Основы ТИ рассмотрены в главе 3.

Рассмотрим в качестве примера применения результатов ТИ, касающихся средних величин в порядковой шкале, один сюжет, связанный с ранжировками и рейтингами.

Сравнение на основе средних баллов. В настоящее время распространены экспертные, маркетинговые, квалиметрические, социологические и иные опросы, в которых используются балльные оценки. В таких исследованиях опрашиваемых просят выставить баллы объектам, изделиям, технологическим процессам, предприятиям, проектам. Или же заявкам на выполнение научно-исследовательских работ, идеям, проблемам, программам, политикам и т.п. Затем рассчитывают средние баллы и рассматривают их как интегральные (то есть обобщенные, итоговые) оценки, выставленные объектам экспертизы коллективом опрошенных экспертов. Какими формулами пользоваться для вычисления средних величин? Ведь средних величин существует, как мы знаем, весьма много разных видов.

По традиции обычно применяют *среднее арифметическое*. Специалисты по теории измерений уже более 30 лет знают, что *такой способ некорректен*, поскольку баллы обычно измерены в *порядковой* шкале. Обоснованным является использование медиан в качестве средних баллов. Однако полностью *игнорировать средние арифметические нецелесообразно из-за их привычности и распространенности*. Поэтому **представляется рациональным использовать одновременно оба метода — и метод средних арифметических баллов, и метод медиан баллов**. Такая рекомендация находится в согласии с общенаучной концепцией устойчивости [89], рекомендующей применять различные методы для обработки одних и тех же данных с целью выделить выводы, получаемые одновременно при всех методах. Такие выводы, видимо, соответствуют реальной действительности, в то время как заключения, меняющиеся от метода к методу, зависят от субъективизма исследователя, выбирающего метод обработки исходных экспертных оценок.

Пример сравнения восьми проектов. Рассмотрим на протяжении настоящей главы конкретный пример применения только что сформулированного подхода. В качестве баллов будем использовать ранги (то есть места в упорядоченном ряду), присвоенные проектам в соответствии с их упорядочениями, полученными в результате работы экспертов.

В рассматриваемом далее примере по заданию руководства фирмы анализировались восемь проектов, предлагаемых для включения в план стратегического развития фирмы. Они обозначены: Д, Л, М-К, Б, Г-Б, Сол, Стеф, К (по фамилиям одного или двух менеджеров, предложивших их для рассмотрения). Все проекты были направлены 12 экспертам, включенным в экспертную комиссию, организованную по решению Правления фирмы. В приведенной ниже табл. 3.1 приведены ранги восьми проектов, присвоенные им каждым из 12 экспертов.

Ранги присваивались в соответствии с представлениями экспертов о целесообразности включения проектов в стратегический план фирмы. Эксперт присваивает ранг 1 самому лучшему проекту, который обязательно надо реализовать. Ранг 2 получает от эксперта второй по привлекательности проект, ... , наконец, ранг 8 — наиболее сомнительный проект, который реализовывать стоит лишь в последнюю очередь.

Таблица 3.1

Ранги 8 проектов по степени привлекательности для включения в план стратегического развития фирмы

| № эксперта | Д | Л | М-К | Б | Г-Б | Сол | Стеф | К |
|------------|---|---|-----|-----|-----|-----|------|---|
| 1 | 5 | 3 | 1 | 2 | 8 | 4 | 6 | 7 |
| 2 | 5 | 4 | 3 | 1 | 8 | 2 | 6 | 7 |
| 3 | 1 | 7 | 5 | 4 | 8 | 2 | 3 | 6 |
| 4 | 6 | 4 | 2,5 | 2,5 | 8 | 1 | 7 | 5 |
| 5 | 8 | 2 | 4 | 6 | 3 | 5 | 1 | 7 |
| 6 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 7 | 8 |
| 7 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 8 | 7 |
| 8 | 5 | 1 | 3 | 2 | 7 | 4 | 6 | 8 |
| 9 | 6 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 7 | 8 |
| 10 | 5 | 3 | 2 | 1 | 8 | 4 | 6 | 7 |
| 11 | 7 | 1 | 3 | 2 | 6 | 4 | 5 | 8 |
| 12 | 1 | 6 | 5 | 3 | 8 | 4 | 2 | 7 |

Примечание. Эксперт № 4 считает, что проекты М-К и Б равноценны, но уступают лишь одному проекту — проекту Сол. Поэтому проекты М-К и Б должны были бы стоять на втором и третьем местах и получить баллы 2 и 3. Поскольку они равноценны, то получают средний балл $(2+3)/2 = 5/2 = 2,5$.

Анализируя результаты работы экспертов (то есть упомянутую таблицу), члены аналитического подразделения рабочей группы, анализирувавшие ответы экспертов по заданию правления фирмы, вынуждены констатировать, что полного согласия между экспертами нет, а потому данные, приведенные в табл. 3.1, следует подвергнуть более тщательному математическому анализу.

3.2. МЕТОДЫ СРЕДНИХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ И МЕДИАН РАНГОВ

Метод средних арифметических рангов. Сначала для получения группового мнения экспертов был применен метод средних арифметических рангов. Для этого подсчитана сумма рангов, присвоенных проектам (см. табл. 3.1). Затем эта сумма разделена на число экспертов, в результате рассчитан средний арифметический ранг (именно эта операция дала название методу). По средним рангам строится итоговая ранжировка (в другой терминологии — упорядочение), исходя из принципа — чем меньше средний ранг, тем лучше проект. Наименьший средний ранг, равный 2,625, у проекта Б, — следовательно, в итоговой ранжировке он получает ранг 1. Следующая по величине сумма, равная 3,125, у проекта М-К, — и он получает итоговый ранг 2. Проекты Л и Сол имеют одинаковые суммы (равные 3,25), значит, с точки зрения экспертов они равноценны (при рассматриваемом способе сведения вместе мнений экспертов), а потому они должны бы стоять на 3 и 4 местах и получают средний балл $(3+4)/2 = 3,5$. Дальнейшие результаты приведены в табл. 3.2 ниже.

Итак, ранжировка по суммам рангов (или, что то же самое, по средним арифметическим рангам) имеет вид:

$$Б < М-К < \{Л, Сол\} < Д < Стеф < Г-Б < К. \quad (3.1)$$

Здесь запись типа «А < Б» означает: проект А предшествует проекту Б (то есть проект А лучше проекта Б). Поскольку проекты Л и Сол получили одинаковую сумму баллов, то по рассматриваемому методу они эквивалентны, а потому объединены в группу (в фигурных скобках). В терминологии математической статистики ранжировка (3.1) имеет одну связь.

Метод медиан рангов. Значит, наука сказала свое слово, итог расчетов — ранжировка (3.1), и на ее основе предстоит принимать решение? Так был поставлен вопрос при обсуждении полученных результатов на заседании правления фирмы. Но тут наиболее знакомый с совре-

менной эконометрикой член правления вспомнил то, о чем шла речь выше. Он понял, что ответы экспертов измерены в порядковой шкале, а потому для них неправомерно проводить усреднение методом средних арифметических. Надо использовать метод медиан.

Таблица 3.2

**Результаты расчетов
по методу средних арифметических и методу медиан
для рангов, приведенных в таблице 3.1**

| | Д | Л | М-К | Б | Г-Б | Сол | Стеф | К |
|---|----|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Сумма рангов | 60 | 39 | 37,5 | 31,5 | 76 | 39 | 64 | 85 |
| Среднее арифметическое рангов | 5 | 3,25 | 3,125 | 2,625 | 6,333 | 3,25 | 5,333 | 7,083 |
| Итоговый ранг по среднему арифметическому | 5 | 3,5 | 2 | 1 | 7 | 3,5 | 6 | 8 |
| Медианы рангов | 5 | 3 | 3 | 2,25 | 7,5 | 4 | 6 | 7 |
| Итоговый ранг по медианам | 5 | 2,5 | 2,5 | 1 | 8 | 4 | 6 | 7 |

Что это значит? Надо взять ответы экспертов, соответствующие одному из проектов, например проекту Д. Это ранги 5, 5, 1, 6, 8, 5, 6, 5, 6, 5, 7, 1. Затем их надо расположить в порядке неубывания (проще было бы сказать — «в порядке возрастания», но поскольку некоторые ответы совпадают, приходится использовать несколько непривычный термин «неубывание»). Получим последовательность: 1, 1, 5, 5, 5, 5, 5, 6, 6, 6, 7, 8. На центральных местах — шестом и седьмом — стоят 5 и 5. Следовательно, медиана равна их среднему арифметическому, то есть 5.

Медианы совокупностей из 12 рангов, соответствующих определенным проектам, приведены в предпоследней строке табл. 3.2. (При этом медианы вычислены по обычным правилам статистики — как среднее арифметическое центральных членов вариационного ряда. Если бы число экспертов было нечетным, в качестве медианы надо было бы взять центральный член вариационного ряда.) Итоговое упорядочение комиссии экспертов по методу медиан приведено в последней строке табл. 3.2. Ранжировка (то есть упорядочение — итоговое мнение комиссии экспертов) по медианам имеет вид:

$$Б < \{М-К, Л\} < Сол < Д < Стеф < К < Г-Б. \quad (3.2)$$

Поскольку проекты Л и М-К имеют одинаковые медианы баллов, то по рассматриваемому методу ранжирования они эквивалентны, а потому объединены в группу (кластер), то есть с точки зрения математической статистики ранжировка (3.2) имеет одну связь.

Сравнение ранжировок по методу средних арифметических и методу медиан. Сравнение ранжировок (3.1) и (3.2) показывает их близость (похожесть). Можно принять, что проекты М-К, Л, Сол упорядочены как $M-K < L < \text{Сол}$, но из-за погрешностей экспертных оценок в одном методе признаны равноценными проекты Л и Сол (ранжировка (3.1)), а в другом — проекты М-К и Л (ранжировка (3.2)). Существенным является только расхождение, касающееся упорядочения проектов К и Г-Б: в ранжировке (3.1) $G-B < K$, а в ранжировке (3.2), наоборот, $K < G-B$. Однако эти проекты — наименее привлекательные из восьми рассматриваемых, и при выборе наиболее привлекательных проектов для дальнейшего обсуждения и использования на указанное расхождение можно не обращать внимания.

Рассмотренный пример демонстрирует сходство и различие ранжировок, полученных по методу средних арифметических рангов и по методу медиан, а также пользу от их совместного применения.

3.3. МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ КЛАСТЕРИЗОВАННЫХ РАНЖИРОВОК

Только что проведенное сравнение ранжировок по методу средних арифметических и методу медиан оставляет ощущение недостаточно строгого подхода. Обсудим проблему согласования кластеризованных ранжировок в общем виде и разберем математический алгоритм такого согласования.

Постановка задачи. Проблема состоит в выделении общего нестрогого порядка из набора кластеризованных ранжировок (на статистическом языке — ранжировок со связями). Этот набор может отражать мнения нескольких экспертов или быть получен при обработке мнений экспертов различными методами. *Предлагается применять метод согласования кластеризованных ранжировок, позволяющий «загнать» противоречия внутри специальным образом построенных кластеров (групп), в то время как упорядочение кластеров соответствует одновременно всем исходным упорядочениям.*

В различных прикладных областях возникает необходимость анализа нескольких кластеризованных ранжировок объектов. К таким областям относятся инженерный бизнес, менеджмент, экономика, социология, экология, экология, прогнозирование, научные и технические исследования и т.д.; особенно те их разделы, что связаны с экспертными оценками (см., например, [15, 92]). В качестве объектов могут выступать образцы продукции, технологии, математические мо-

дели, проекты, кандидаты на должность и др. Кластеризованные ранжировки могут быть получены как с помощью экспертов, так и объективным путем, например при сопоставлении математических моделей с экспериментальными данными с помощью того или иного критерия качества. Описанный ниже метод разработан в связи с проблемами химической безопасности биосферы и экологического страхования [3].

В настоящем пункте рассматривается **метод построения кластеризованной ранжировки, согласованной (в раскрытом ниже смысле) со всеми рассматриваемыми кластеризованными ранжировками. При этом противоречия между отдельными исходными ранжировками оказываются заключенными внутри кластеров согласованной ранжировки. В результате упорядоченность кластеров отражает общее мнение экспертов, точнее, то общее, что содержится в исходных ранжировках.**

В кластеры заключены объекты, по поводу которых некоторые из исходных ранжировок *противоречат* друг другу. Для их упорядочения необходимо провести новые исследования. Эти исследования могут быть как формально-математическими (например, вычисление медианы Кемени (о ней — ниже), упорядочения внутри группы по средним рангам или по медианам с привлечением новых экспертов и т.п.), так и требовать привлечения новой информации из соответствующей прикладной области, возможно, проведения дополнительных научных или прикладных работ.

Введем необходимые понятия, затем сформулируем алгоритм согласования кластеризованных ранжировок в общем виде и рассмотрим его свойства.

Пусть имеется конечное число объектов, которые мы для простоты изложения будем изображать натуральными числами $1, 2, 3, \dots, k$ и называть их совокупность «носителем». Под *кластеризованной ранжировкой, определенной на заданном носителе, понимаем следующую математическую конструкцию*. Пусть объекты разбиты на группы, которые будем называть кластерами. В кластере может быть и один элемент. Входящие в один кластер объекты будем заключать в фигурные скобки. Например, объекты $1, 2, 3, \dots, 10$ могут быть разбиты на 7 кластеров: $\{1\}, \{2,3\}, \{4\}, \{5,6,7\}, \{8\}, \{9\}, \{10\}$. В этом разбиении один кластер $\{5,6,7\}$ содержит три элемента, другой — $\{2,3\}$ — два, остальные пять — по одному элементу. Кластеры не имеют общих элементов, а объединение их (как множеств) есть все рассматриваемое множество объектов (весь носитель).

Вторая составляющая кластеризованной ранжировки — это строгий линейный порядок между кластерами. Задано, какой из них первый, какой второй, и т.д. Будем изображать упорядоченность с помощью

знака $<$. При этом кластеры, состоящие из одного элемента, будем для простоты записи изображать без фигурных скобок. Тогда кластеризованную ранжировку на основе введенных выше кластеров можно изобразить так:

$$A = [1 < \{2, 3\} < 4 < \{5, 6, 7\} < 8 < 9 < 10].$$

Конкретные кластеризованные ранжировки будем заключать в квадратные скобки. Если для простоты речи термин «кластер» применять только к кластеру не менее чем из двух элементов, то можно сказать, что в кластеризованную ранжировку A входят два кластера $\{2, 3\}$ и $\{5, 6, 7\}$ и 5 отдельных элементов.

Кластеризованная ранжировка, введенная описанным образом, является бинарным отношением на носителе — множестве $\{1, 2, 3, \dots, 10\}$. Его структура такова. Задано отношение эквивалентности с 7-ю классами эквивалентности, а именно: $\{2, 3\}$, $\{5, 6, 7\}$, а остальные 5 классов состоят из оставшихся 5 отдельных элементов. Затем введен строгий линейный порядок между классами эквивалентности.

Рассматриваемый математический объект известен в литературе как «ранжировка со связями» (М. Холлендер, Д. Вулф, [131]), «упорядочение» (Дж. Кемени, Дж. Снелл, [24]), «квазисерия» (Б.Г. Миркин, [46]), «совершенный квазипорядок» (Ю.А. Шрейдер [137, с. 127, 130]). Учитывая разнобой в терминологии, признано полезным ввести собственный термин «кластеризованная ранжировка», поскольку в нем явным образом названы основные элементы изучаемого математического объекта — кластеры, рассматриваемые на этапе согласования ранжировок как классы эквивалентности, и ранжировка — строгий совершенный порядок между ними (в терминологии Ю.А. Шрейдера [137, гл.IV]).

Следующее важное понятие — *противоречивость*. Оно определяет для четверки — две кластеризованные ранжировки на одном и том же носителе и два различных объекта — элементы того же носителя. При этом два элемента из одного кластера будем связывать символом равенства $=$, как эквивалентные.

Пусть A и B — две кластеризованные ранжировки. *Пару объектов* (a, b) назовем «противоречивой» относительно кластеризованных ранжировок A и B , если эти два элемента по-разному упорядочены в A и B , то есть $a < b$ в A и $a > b$ в B (первый вариант противоречивости) либо $a > b$ в A и $a < b$ в B (второй вариант противоречивости). Отметим, что в соответствии с этим определением пара объектов (a, b) , эквивалентная хотя бы в одной кластеризованной ранжировке, не может быть противоречивой, поскольку эквивалентность $a = b$ не образует «противо-

речия» ни с $a < b$, ни с $a > b$. Это свойство оказывается полезным при выделении противоречивых пар.

В качестве примера рассмотрим кроме A еще две кластеризованные ранжировки

$$B = [\{1, 2\} < \{3, 4, 5\} < 6 < 7 < 9 < \{8, 10\}],$$

$$C = [3 < \{1, 4\} < 2 < 6 < \{5, 7, 8\} < \{9, 10\}].$$

Совокупность противоречивых пар объектов для двух кластеризованных ранжировок A и B назовем «ядром противоречий» и обозначим $S(A, B)$. Для рассмотренных выше в качестве примеров трех кластеризованных ранжировок A , B и C , определенных на одном и том же носителе $\{1, 2, 3, \dots, 10\}$, имеем

$$S(A, B) = [(8, 9)], S(A, C) = [(1, 3), (2, 4)],$$

$$S(B, C) = [(1, 3), (2, 3), (2, 4), (5, 6), (8, 9)].$$

Как при ручном, так и при программном нахождении ядра можно в поисках противоречивых пар просматривать пары $(1, 2)$, $(1, 3)$, $(1, 4)$, ..., $(1, k)$, затем $(2, 3)$, $(2, 4)$, ..., $(2, k)$, потом $(3, 4)$, ..., $(3, k)$, и т.д., вплоть до последней пары $(k - 1, k)$.

Пользуясь понятиями дискретной математики, «ядро противоречий» можно изобразить графом с вершинами в точках носителя. При этом противоречивые пары задают ребра этого графа. Граф для $S(A, B)$ имеет только одно ребро (одна связная компонента более чем из одной точки), для $S(A, C)$ — 2 ребра (две связные компоненты более чем из одной точки), для $S(B, C)$ — 5 ребер (три связные компоненты более чем из одной точки, а именно, $\{1, 2, 3, 4\}$, $\{5, 6\}$ и $\{8, 9\}$).

Каждую кластеризованную ранжировку, как и любое бинарное отношение, можно задать матрицей $\|x(a, b)\|$ из 0 и 1 порядка $k \times k$. При этом $x(a, b) = 1$ тогда и только тогда, когда $a < b$ либо $a = b$. В первом случае $x(b, a) = 0$, а во втором $x(b, a) = 1$. При этом всегда хотя бы одно из чисел $x(a, b)$ и $x(b, a)$ равно 1. Из определения противоречивости пары (a, b) вытекает, что для нахождения всех таких пар достаточно поэлементно перемножить две матрицы $\|x(a, b)\|$ и $\|y(a, b)\|$, соответствующие двум кластеризованным ранжировкам, и отобрать те и только те пары, для которых $x(a, b)y(a, b) = x(b, a)y(b, a) = 0$.

Предлагаемый алгоритм согласования некоторого числа (двух или более) кластеризованных ранжировок состоит из трех этапов. На первом выделяются противоречивые пары объектов во всех парах кластеризованных ранжировок. На втором формируются кластеры итоговой кластеризованной ранжировки (то есть классы эквивалентности — связные компоненты графов, соответствующих объединению

попарных ядер противоречий). На третьем этапе эти *кластеры (классы эквивалентности)* упорядочиваются. Для установления порядка между кластерами произвольно выбирается один объект из первого кластера и второй — из второго, порядок между кластерами устанавливается такой же, какой имеется между выбранными объектами в любой из рассматриваемых кластеризованных ранжировок. (Если в одной из исходных кластеризованных ранжировок имеется равенство, а в другой — неравенство, то при построении итоговой кластеризованной ранжировки используется неравенство.)

Корректность подобного упорядочивания, то есть его независимость от выбора той или иной пары объектов при упорядочении двух кластеров и транзитивность такого упорядочения, вытекает из соответствующих теорем, впервые доказанных в статье [15].

Два объекта из разных кластеров согласующей кластеризованной ранжировки могут оказаться эквивалентными в одной из исходных кластеризованных ранжировок (то есть находиться в одном кластере). В таком случае надо рассмотреть упорядоченность этих объектов в какой-либо другой из исходных кластеризованных ранжировок. Если же во всех исходных кластеризованных ранжировках два рассматриваемых объекта находились в одном кластере, то естественно считать (и это является уточнением к этапу 3 алгоритма), что они находятся в одном кластере и в согласующей кластеризованной ранжировке.

Результат согласования кластеризованных ранжировок A, B, C, \dots обозначим $f(A, B, C, \dots)$. Тогда

$$f(A, B) = [1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7 < \{8, 9\} < 10],$$

$$f(A, C) = [\{1, 3\} < \{2, 4\} < 6 < \{5, 7\} < 8 < 9 < 10],$$

$$f(B, C) = [\{1, 2, 3, 4\} < \{5, 6\} < 7 < \{8, 9\} < 10],$$

$$f(A, B, C) = f(B, C) = [\{1, 2, 3, 4\} < \{5, 6\} < 7 < \{8, 9\} < 10].$$

Итак, в случае $f(A, B)$ дополнительного изучения с целью упорядочения требуют только объекты 8 и 9. В случае $f(A, C)$ кластер $\{5, 7\}$ появился не потому, что относительно объектов 5 и 7 имеется противоречие, а потому, что в обеих исходных ранжировках эти объекты не различаются. В случае $f(B, C)$ четыре объекта 1, 2, 3, 4 объединились в один кластер, то есть кластеризованные ранжировки оказались настолько противоречивыми, что процедура согласования не позволила провести достаточно полную декомпозицию задачи нахождения итогового мнения экспертов.

Рассмотрим некоторые свойства алгоритмов согласования.

1. Пусть $D = f(A, B, C, \dots)$. Если $a < b$ в согласующей кластеризованной ранжировке D , то $a < b$ или $a = b$ в каждой из исходных ранжи-

ровок A, B, C, \dots , причем хотя бы в одной из них справедливо строгое неравенство.

2. Построение согласующих кластеризованных ранжировок может осуществляться поэтапно. В частности, $f(A, B, C) = f(f(A, B), f(A, C), f(B, C))$. Ясно, что *ядро противоречий для набора кластеризованных ранжировок является объединением таких ядер для всех пар рассматриваемых ранжировок*.

3. Построение согласующих кластеризованных ранжировок нацелено на выделение общего упорядочения в исходных кластеризованных ранжировках. Однако при этом некоторые общие свойства исходных кластеризованных ранжировок могут теряться. Так, при согласовании ранжировок B и C , рассмотренных выше, противоречия в упорядочении элементов 1 и 2 не было — в ранжировке B эти объекты входили в один кластер, то есть $1 = 2$, в то время как $1 < 2$ в кластеризованной ранжировке C . Значит, при их отдельном рассмотрении можно принять упорядочение $1 < 2$. Однако в $f(B, C)$ они попали в один кластер, то есть возможность их упорядочения исчезла. Это связано с поведением объекта 3, который «перескочил» в C на первое место и «увлек с собой в противоречие» пару (1, 2), образовав противоречивые пары и с 1, и с 2. Другими словами, связанная компонента графа, соответствующего ядру противоречий, сама по себе не всегда является полным графом. Недостающие ребра при этом соответствуют парам типа (1, 2), которые сами по себе не являются противоречивыми, но «увлекаются в противоречие» другими парами.

3. Необходимость согласования кластеризованных ранжировок возникает, в частности, при разработке методики применения экспертных оценок в задачах экологического страхования и химической безопасности биосферы. Популярным является метод упорядочения по средним рангам, в котором итоговая ранжировка строится на основе средних арифметических рангов, выставленных отдельными экспертами [44, 92]. Однако из теории измерений известно (см. главу 4), что более обоснованным является использование не средних арифметических, а медиан. Вместе с тем метод средних арифметических рангов весьма известен и широко применяется, так что просто отбросить его нецелесообразно. Участвующие в исследовании и привыкшие к методу средних арифметических рангов специалисты не поймут и не примут такого решения РГ. Поэтому нами было принято решение об одновременном применении обоих методов. Реализация этого решения потребовала разработки приведенной выше методики согласования двух указанных кластеризованных

ранжировок. Практическая апробация [101, 126] метода продемонстрировала правильность принятого решения об одновременном использовании метода средних арифметических рангов и метода медиан рангов.

Во многих случаях кластеризованные ранжировки, полученные двумя методами, совпадали или были весьма близки, как в примере, рассмотренном в разделе 3.2. Теоретическое объяснение этому экспериментальному факту дает теорема 3.2 главы 3. Можно сказать: когда объекты реально упорядочены, этот порядок выявит любой способ анализа данных. Проблема в том, что мы не знаем заранее, упорядочены ли объекты в действительности или нет. И одновременное применение двух (или более) методов позволяет найти ответ на этот вопрос. Если результаты анализа данных совпадают или почти совпадают — повышается уверенность в том, что они отражают действительность. Если результаты, полученные с помощью двух методов анализа данных, весьма различаются — значит, они не отражают реальности. Выводы, зависящие от субъективного выбора исследователем того или иного метода анализа данных, не могут использоваться для принятия объективного решения.

5. Область применения рассматриваемого метода не ограничивается экспертными оценками. Он может быть использован, например, для сравнения качества математических моделей процесса испарения жидкости. Имелись данные экспериментов и результаты расчетов по 8 математическим моделям. Сравнить модели можно по различным критериям качества. Например, по сумме модулей относительных отклонений расчетных и экспериментальных значений. Можно действовать и по-другому. Например, в каждой экспериментальной точке упорядочить модели по качеству, а потом получать единые оценки методами средних рангов и медиан. Использовались и иные методы. Затем применялись методы согласования полученных различными способами кластеризованных ранжировок. В результате оказалось возможным упорядочить модели по качеству и использовать это упорядочение при разработке банка математических моделей, используемого в задачах химической безопасности биосферы.

6. Рассматриваемый метод согласования кластеризованных ранжировок построен в соответствии с *методологией теории устойчивости* [89], согласно которой результат обработки данных, инвариантный относительно метода обработки, соответствует реальности, а результат расчетов, зависящий от метода обработки, отражает субъективизм исследователя, а не объективные соотношения.

3.4. ПРИМЕР АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНЫХ УПОРЯДОЧЕНИЙ

В таблице 3.1 были приведены ранги, выставленные экспертами. А как анализировать упорядочения (кластеризованные ранжировки), полученные непосредственно от экспертов? Покажем на примере табл. 3.3.

Таблица 3.3

Упорядочения проектов экспертами

| Эксперты | Упорядочения |
|----------|-----------------------------------|
| 1 | $1 < \{2, 3\} < 4 < 5 < \{6, 7\}$ |
| 2 | $\{1, 3\} < 4 < 2 < 5 < 7 < 6$ |
| 3 | $1 < 4 < 2 < 3 < 6 < 5 < 7$ |
| 4 | $1 < \{2, 4\} < 3 < 5 < 7 < 6$ |
| 5 | $2 < 3 < 4 < 5 < 1 < 6 < 7$ |
| 6 | $1 < 3 < 2 < 5 < 6 < 7 < 4$ |
| 7 | $1 < 5 < 3 < 4 < 2 < 6 < 7$ |

Найдем по данным табл. 3.3:

- а) итоговое упорядочение по средним арифметическим рангов;
- б) итоговое упорядочение по медианам рангов;
- в) кластеризованную ранжировку, согласующую эти два упорядочения.

Начать необходимо с построения вспомогательной таблицы, которая называется таблицей рангов. В ней указаны ранги объектов экспертизы, соответствующие экспертным упорядочениям.

Таблица 3.4

Ранги для экспертных упорядочений (табл. 3.3)

| Эксперты и итоги расчетов | Объекты экспертизы | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----|-----|------|----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1 | 2,5 | 2,5 | 4 | 5 | 6,5 | 6,5 |
| 2 | 1,5 | 4 | 1,5 | 3 | 5 | 7 | 6 |
| 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 6 | 5 | 7 |
| 4 | 1 | 2,5 | 4 | 2,5 | 5 | 7 | 6 |
| 5 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| 6 | 1 | 3 | 2 | 7 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 1 | 5 | 3 | 4 | 2 | 6 | 7 |
| Сумма рангов | 11,5 | 21 | 19 | 25,5 | 31 | 42,5 | 45,5 |
| Итоговый ранг по сумме рангов | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Медианы рангов | 1 | 3 | 2,5 | 3 | 5 | 6 | 6,5 |
| Итоговый ранг по медианам | 1 | 3,5 | 2 | 3,5 | 5 | 6 | 7 |

Поясним построение таблицы рангов. Рассмотрим кластеризованную ранжировку $\{1, 3\} < 4 < 2 < 5 < 7 < 6$ (эксперт 2). Объекты 1 и 3 занимают места 1 и 2 в упорядоченном ряду, поэтому получают связанные ранги 1,5 (см. примечание к табл. 1). Объект 4 стоит на 3-м месте и получает ранг 3. Объект 2 — на 4-м месте (ранг 4) и т.д.

Дальнейшие расчеты аналогичны проведенным при построении табл. 3.2. Итоговая кластеризованная ранжировка по суммам рангов (или, что то же самое, по средним арифметическим рангов) имеет вид:

$$1 < 3 < 2 < 4 < 5 < 6 < 7. \quad (3.3)$$

При объеме выборки 7 медианой является 4-й член вариационного ряда. Кластеризованная ранжировка по медианам рангов такова:

$$1 < 3 < \{2, 4\} < 5 < 6 < 7. \quad (3.4)$$

Для ранжировок (3.3) и (3.4) согласующей ранжировкой является (3.3) (согласно алгоритму согласования кластеризованных ранжировок). Противоречивых пар нет. Подобная ситуация достаточно часто встречается при анализе реальных данных. Совпадение результатов, полученных разными методами, согласно теории устойчивости [68, 89 — 91] повышает достоверность выводов.

На различных этапах маркетинговых исследований активно применяются различные виды экспертных оценок, в том числе анализ экспертных упорядочений. Например, в ходе разработки проекта развития инновационных технологий космического приборостроения на примере системы ГЛОНАСС результаты, приведенные в настоящей главе, применены для выявления направлений развития навигационных приборов в области автомобильного транспорта с целью улучшения технических характеристик [79, разд. 12.1]. Объект исследования — прогнозирование предпочтений потребителей в области технико-функциональных характеристик навигационного прибора. Установлено, что к наиболее важным характеристикам навигационного прибора следует отнести следующие характеристики: точность определения навигационных параметров; надежность и прочность в эксплуатации; простота в обращении; сохранение точностных характеристик в различных условиях. Следовательно, при разработке навигационного прибора в первую очередь необходимо обеспечить выполнение данных требований. Для этого научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы должны быть направлены на создание универсальных микросхем, печатных плат, обеспечивающих получение качественных сигналов приема-передачи со спутников, на разработку программного обеспечения. Задача дизайнеров

заключается в разработке эргономичного, удобного в использовании прибора. Необходимо обеспечить конструктивное исполнение корпуса прибора, позволяющее сохранять точностные характеристики в различных условиях. Для получения требуемого объема памяти, обеспечения работы аккумуляторной батареи целесообразно использовать покупные комплектующие изделия, исходя из целевого использования прибора, решаемых с его помощью задач. Габариты, вес, современный дизайн отнесены экспертами к менее значимым характеристикам. Они не несут основной технико-функциональной нагрузки, однако при разработке прибора их следует учесть, чтобы обеспечить эстетичность и гармоничное сочетание с салоном автомобиля и другими устройствами.

Контрольные вопросы и задания

1. Чем метод средних арифметических рангов отличается от метода медиан рангов?
2. Почему метод средних арифметических рангов не приемлем с точки зрения теории измерений?
3. Дайте определение понятию «кластеризованная ранжировка».
4. Почему необходимо согласование кластеризованных ранжировок и как оно проводится?
5. В таблице 3.5 приведены упорядочения 7 инвестиционных проектов, представленные 7 экспертами.

Таблица 3.5

Упорядочения проектов экспертами

| Эксперт | Упорядочение |
|---------|------------------------------|
| 1 | $3 < 7 < 2 < 5 < 6 < 4 < 1$ |
| 2 | $7 < (2, 3) < 4 < 5 < 6 < 1$ |
| 3 | $2 < 7 < 3 < 6 < 5 < 1 < 4$ |
| 4 | $3 < 2 < 7 < 6 < 5 < 1 < 4$ |
| 5 | $2 < 3 < (5, 7) < 6 < 4 < 1$ |
| 6 | $5 < 3 < 2 < 6 < 7 < (1, 4)$ |
| 7 | $2 < 3 < 7 < 6 < 4 < 1 < 5$ |

Постройте таблицу рангов. Найдите:

- а) итоговое упорядочение по средним арифметическим рангов;
 - б) итоговое упорядочение по медианам рангов;
 - в) кластеризованную ранжировку, согласующую эти два упорядочения.
6. В таблице 3.6 приведены упорядочения 7 инвестиционных проектов, представленные 7 экспертами.

Таблица 3.6

Упорядочения проектов экспертами

| Эксперт | Упорядочение |
|---------|------------------------------------|
| 1 | $4 < 6 < 1 < 2 < \{3, 5\} < 7$ |
| 2 | $1 < \{4, 6\} < 2 < 3 < \{5, 7\}$ |
| 3 | $\{4, 6\} < \{1, 2\} < 5 < 3 < 7$ |
| 4 | $4 < \{1, 6\} < 3 < 5 < 7 < 2$ |
| 5 | $6 < \{1, 2\} < 4 < 5 < 1 < 7 < 3$ |
| 6 | $2 < 1 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7$ |
| 7 | $6 < 1 < 4 < 3 < 2 < 5 < 7$ |

Постройте таблицу рангов. Найдите:

- а) итоговое упорядочение по средним арифметическим рангам;
- б) итоговое упорядочение по медианам рангов;
- в) кластеризованную ранжировку, согласующую эти два упорядочения.

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Сравните с помощью экспертного опроса субъективное ощущение тяжести (сложности, трудности) дней недели. Для этого получите от экспертов упорядочения (кластеризованные ранжировки) дней недели по этому показателю. Обработайте экспертные мнения с помощью метода средних арифметических рангов и метода медиан рангов. При необходимости проведите согласование двух полученных кластеризованных ранжировок. Можно ли утверждать, что опрошенные Вами эксперты имеют единое мнение по поводу субъективной тяжести дней недели? Или же мнения экспертов настолько различны, что никаких общих для всей групп экспертов выводов сделать нельзя?

Примечание. Желательно опросить от 5 до 15 экспертов.

2. Перекодируйте ответы экспертов, полученные при выполнении задания 1, исключив сведения о выходных днях (субботе и воскресенье). Проведите предусмотренную заданием 1 обработку данных.

Что изменилось в расчетах и выводах и что сохранилось по сравнению с заданием 1?

3. Проведите обработку мнений экспертов, собранных в процессе выполнения задания 1, предварительно сделав допустимое преобразование в порядковой шкале и перейдя от рангов к баллам. А именно, используя вместо рангов 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (по числу дней недели) неравномерную шкалу баллов, например, (-10) , (-3) , (-1) , 0, 1, 3, 10 (то есть (-10) — балл самого плохого дня, (-3) — второго по тяжести, ..., 10 — балл самого хорошего дня недели). В случае связанных рангов берите среднее арифметическое соответствующих соседних значений баллов.

Что изменилось в расчетах и выводах и что сохранилось по сравнению с заданием 1?

4. Проведите подробное математическое обоснование корректности алгоритма согласования кластеризованных ранжировок (на основе статьи [15] и приложения 3 в учебнике [92]).
5. Разработайте метод сбора и анализа мнений экспертов с использованием средних по Колмогорову (в соответствующем варианте метода средних рангов).
6. Проведите сравнительный анализ различных методов усреднения мнений экспертов с целью выявления итогового мнения комиссии экспертов. В частности, сравните методы средних рангов с расчетом медианы Кемени (на основе расстояния Кемени между кластеризованными ранжировками).

Глава 4

ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Теория измерений (ТИ) необходима для разработки технологий экспертного оценивания. За последние десятилетия она прошла путь от малоизвестного раздела математической психологии до общенаучной концепции, знакомство с которой признается обязательным для исследователей и студентов самых разных специальностей (в качестве примеров укажем книги [52, 53, 92, 123]). ТИ — одна из составных частей наук, посвященных анализу данных — статистики и эконометрики. Считается, что ТИ входит в состав *статистики объектов нечисловой природы* [67, 72].

В настоящей главе рассмотрены основные идеи ТИ. Введены шкалы наименований, порядка, интервалов, отношений и др. Обосновано требование инвариантности статистических выводов относительно группы допустимых преобразований шкалы измерения. Установлены правила выбора вида средних величин в соответствии с типом шкалы измерения (для данных, измеренных в шкалах порядка, интервалов и отношений).

4.1. ОСНОВНЫЕ ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Почему необходима ТИ? Эта теория исходит из того, что арифметические действия с используемыми в практической работе числами не всегда имеют смысл. Действительно, использование чисел в жизни и хозяйственной деятельности людей отнюдь не всегда предполагает, что эти числа можно складывать и умножать, производить иные арифметические действия. Что бы вы сказали о человеке, который занимается сложением или умножением телефонных номеров? Далее, не всегда выполнены привычные арифметические соотношения. Например, сумма знаний двух двоечников не равна знаниям «хорошиста», то есть для оценок знаний $2 + 2$ не равно 4. Если вы вечером поместите в клетку двух животных, а потом еще двух, то отнюдь не всегда можно утром найти в этой клетке четырех животных. Их может быть и много

больше — если вечером вы загнали в клетку овцематок или беременных кошек. Их может быть и меньше — если к двум волкам вы поместили двух ягнят. Итак, отнюдь не всегда $2 + 2 = 4$. Числа используются гораздо шире, чем арифметика.

Приведенные выше примеры показывают, что практика использования чисел для описания результатов наблюдений (измерений, испытаний, анализов, опытов) заслуживает методологического анализа.

При применении тех или иных экспертных технологий необходимо разобраться с проблемами измерения различных величин, используемых в процессе сбора и анализа экспертных мнений. Они могут быть измерены в тех или иных количественных или качественных шкалах. Поскольку в выборе конкретной шкалы имеется некоторый произвол (например, расстояние можно измерять в аршинах, саженях, верстах, метрах или парсеках), то естественно потребовать, чтобы принимаемое решение не зависело от этого произвола (например, от того, в каких единицах измерено расстояние).

Например, мнения экспертов часто выражены в порядковой шкале (подробнее о шкалах говорится ниже), то есть эксперт может сказать (и обосновать), что один показатель качества продукции важнее, чем другой, первый технологический объект опаснее, чем второй, и т.д. Но он не в состоянии сказать, *во сколько раз* или *насколько* он более важен, соответственно, более опасен. Экспертов часто просят дать ранжировку (упорядочение) объектов экспертизы, то есть расположить их в порядке возрастания (или убывания) интенсивности интересующей организаторов экспертизы характеристики. Ранг — это номер (объекта экспертизы) в упорядоченном ряду значений характеристики у различных объектов. Такой ряд в статистике называется вариационным. Формально ранги выражаются числами 1, 2, 3, ..., но с этими числами нельзя делать привычные арифметические операции. Например, хотя в арифметике $1 + 2 = 3$, но нельзя утверждать, что для объекта, стоящего на третьем месте в упорядочении, интенсивность изучаемой характеристики равна сумме интенсивностей объектов с рангами 1 и 2. Так, один из видов экспертного оценивания — оценки учащихся. Вряд ли кто-либо будет утверждать, что знания отличника равны сумме знаний двоечника и троечника (хотя $5 = 2 + 3$), хорошист соответствует двум двоечникам ($2 + 2 = 4$), а между отличником и троечником такая же разница, как между хорошистом и двоечником ($5 - 3 = 4 - 2$). Поэтому очевидно, что для анализа подобного рода качественных данных необходима не всем известная арифметика, а другая теория, дающая базу для разработки, изучения и применения конкретных методов расчета. Это и есть ТИ.

При чтении литературы надо иметь в виду, что в настоящее время термин «теория измерений» применяется для обозначения целого ряда научных дисциплин. А именно, классической метрологии (науки об измерениях физических величин), рассматриваемой здесь ТИ, некоторых других направлений, например алгоритмической теории измерений. Обычно из контекста понятно, о какой конкретно теории идет речь.

Краткая история ТИ. Сначала ТИ развивалась как теория психофизических измерений. В послевоенных публикациях американский психолог С.С. Стивенс основное внимание уделял шкалам измерения. Во второй половине XX в. сфера применения ТИ стремительно расширяется.

Один из томов выпущенной в США в 1950-х гг. «Энциклопедии психологических наук» назывался «Психологические измерения». Значит, составители этого тома расширили сферу применения ТИ с психофизики на психологию в целом. А в основной статье в этом сборнике под названием «Основы теории измерений» изложение шло на абстрактно-математическом уровне, без привязки к какой-либо конкретной области применения. В этой статье [121] упор сделан на «гомоморфизмы эмпирических систем с отношениями в числовые» (в эти математические термины здесь вдаваться нет необходимости), и математическая сложность изложения заметно возросла по сравнению с работами С.С. Стивенса.

Уже в одной из первых отечественных статей по ТИ (конец 1960-х гг.) установлено, что баллы, присваиваемые экспертами при оценке объектов экспертизы, как правило, измерены в порядковой шкале. Отечественные работы, появившиеся в начале 1970-х гг., привели к существенному расширению области использования ТИ. Ее применяли в педагогической квалиметрии (для измерения качества знаний учащихся), в системных исследованиях, в различных задачах теории экспертных оценок, для агрегирования показателей качества продукции, в социологических исследованиях, и др.

Итоги этого этапа подведены в монографии [89]. В качестве двух основных проблем ТИ наряду с *установлением типа шкалы* измерения конкретных данных выдвинут поиск алгоритмов анализа данных, результат работы которых не меняется при любом допустимом преобразовании шкалы (то есть является *инвариантным* относительно этого преобразования).

Метрологи вначале резко возражали против использования термина «измерение» для качественных признаков. Однако постепенно возражения сошли на нет, и к концу XX в. ТИ стала рассматриваться как общенаучная теория.

Необходимость использования ТИ в теории и практике экспертного оценивания рассмотрим в связи с агрегированием мнений экспертов, построением обобщенных показателей и рейтингов.

Основные идеи теории измерений рассмотрены ниже.

Шесть основных типов шкал. В соответствии с ТИ при математическом моделировании реального явления или процесса следует установить *типы шкал*, в которых измерены те или иные переменные. Тип шкалы задает *группу допустимых преобразований шкалы*. Допустимые преобразования не меняют объективно существующих соотношений между объектами измерения.

Например, при измерении длины переход от аршин к метрам не меняет соотношений между длинами рассматриваемых объектов — если первый объект длиннее второго, то это будет установлено и при измерении в аршинах, и при измерении в метрах. Если первый длиннее второго в 5 раз при измерении в дюймах, то и при измерении в сажень первый длиннее второго ровно в 5 раз. **При этом численное значение длины в аршинах отличается от численных значений длины в метрах, дюймах и сажнях — не меняется лишь результат сравнения длин двух объектов и отношение длин.**

Укажем основные виды шкал измерения и соответствующие группы допустимых преобразований.

В *шкале наименований* (другое название этой шкалы — *номинальная*; это — термин на основе латыни; иногда называют также классификационной шкалой) **допустимыми** являются все взаимно однозначные преобразования. В этой шкале числа используются лишь как метки, примерно так же, как при сдаче белья в прачечную, то есть лишь для различения объектов. В шкале наименований измерены, например, номера телефонов, автомашин, паспортов, студенческих билетов. Номера страховых свидетельств государственного пенсионного страхования, медицинского страхования, штрихкоды товаров, ИНН (индивидуальные номера налогоплательщиков) измерены в шкале наименований. В этой шкале измерены и многие иные величины, с формальной точки зрения выраженные числами. Пол людей тоже измерен в шкале наименований, результат измерения принимает два значения — мужской, женский. Раса, национальность, цвет глаз, волос — номинальные признаки. Номера букв в алфавите — тоже измерения в шкале наименований. Никому в здравом уме не придет в голову складывать или умножать ИНН или номера паспортов, такие операции не имеют смысла. Сравнить буквы и говорить, например, что буква «П» лучше буквы «С», также никто не будет. Единственное, для чего годятся измерения в шкале наименований, — это различать

объекты. Во многих случаях только это от них и требуется. Например, шкафчики в раздевалках для взрослых различают по номерам, то есть числам, а в детских садах используют рисунки, поскольку дети еще не знают чисел.

Итак, наиболее простой способ использования чисел — применять их для различения объектов. Например, телефонные номера нужны, чтобы отличать одного абонента от другого. При таком способе измерения используется только одно отношение между числами — равенство (два объекта описываются либо равными числами, либо различными). С прикладной точки зрения шкала измерения — это способ приписывания чисел рассматриваемым объектам, соответствующий имеющимся между объектами отношениям. Шкалы наименований соответствуют эмпирическим системам, в которых есть только одно отношение — равенства (эквивалентности) элементов этих систем.

Числа могут быть приписаны объектам разными способами. Переход от одного способа к другому наблюдаем при замене паспортов или телефонных номеров. Каковы свойства допустимых преобразований? Для шкалы наименований естественно потребовать только взаимной однозначности. Другими словами, применив к результатам измерений взаимно-однозначное преобразование, получаем новую шкалу, столь же хорошо описывающую систему исходных объектов, как и прежняя шкала.

Допустимые преобразования проводятся время от времени в реальной жизни, например при замене телефонных номеров или паспортов. При этом каждому прежнему телефонному номеру соответствует один и только один новый. Не допускается, чтобы два прежних номера «слились» в одном новом или чтобы из одного прежнего получилось два новых. Это и означает, что преобразование является взаимно-однозначным.

В *порядковой шкале* числа используются не только для различения объектов, но и для установления порядка между объектами. Простейшим примером являются оценки знаний учащихся. Символично, что в средней школе применяются оценки 2, 3, 4, 5, а в высшей школе ровно тот же смысл выражается словесно — известными всем терминами «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Этим подчеркивается «нечисловой» характер оценок знаний учащихся. Ведь фактически преподаватель относит учащихся к одной из четырех упорядоченных категорий, а обозначения этих категорий используются лишь для удобства управления образовательным процессом.

Порядковые шкалы соответствуют эмпирическим системам, в которых кроме отношения равенства (эквивалентности) элементов есть отношение (нестрогого) порядка между элементами этих систем. Из-

вестно, что в таком случае элементы эмпирической системы можно разбить на классы эквивалентности, между которыми имеется отношение строгого линейного порядка [89].

В *порядковой шкале допустимыми* являются все строго возрастающие преобразования. Так, автор настоящего учебника при участии в российско-французском образовательном проекте пользовался наряду с российской и традиционной французской шкалой оценок, в которой знания учащихся оцениваются числами от 1 до 20. Приходилось постоянно осуществлять преобразования, в которых оценка «неудовлетворительно» переходила в 8, «удовлетворительно» — в 12, «хорошо» — в 15, «отлично» — в 18. (Французская шкала оценок позволяла дать численное выражение и дополнительным вариантам оценок, например «четыре с плюсом» — это 16, а «три с двумя минусами» — это 10.)

Установление типа шкалы, то есть задания группы допустимых преобразований шкалы измерения — дело специалистов соответствующей прикладной области. Так, оценки привлекательности профессий мы в монографии [89], выступая в качестве социологов, считали измеренными в *порядковой шкале*. Однако отдельные социологи не соглашались с нами, полагая, что выпускники школ пользуются шкалой с более узкой группой допустимых преобразований, например интервальной шкалой. Очевидно, эта проблема относится не к математике, а к наукам о человеке. Для ее решения может быть поставлен достаточно трудоемкий эксперимент. Например, можно предложить каждому опрашиваемому ставить оценки одновременно по двум шкалам, а затем изучить соотношения между выставленными оценками и выявить вид реально используемых преобразований. Пока же подобный эксперимент не поставлен, целесообразно принимать *порядковую шкалу*, так как это гарантирует от возможных ошибок при анализе данных и получении выводов.

Оценки экспертов часто следует считать измеренными в *порядковой шкале*. Типичный пример — задачи ранжирования и классификации промышленных объектов, подлежащих экологическому страхованию.

Почему мнения экспертов естественно выражать именно в *порядковой шкале*? *Как показали многочисленные опыты, человек более правильно (и с меньшими затруднениями) отвечает на вопросы качественного, например сравнительного, характера, чем количественного.* Так, ему легче сказать, какая из двух гирь тяжелее, чем указать их примерный вес в граммах.

В различных областях человеческой деятельности применяется много других видов *порядковых шкал*. Например, в минералогии ис-

пользуется шкала Мооса, по которой минералы классифицируются согласно критерию твердости. А именно: тальк имеет балл 1, гипс — 2, кальций — 3, флюорит — 4, апатит — 5, ортоклаз — 6, кварц — 7, топаз — 8, корунд — 9, алмаз — 10. Минерал с большим номером является более твердым, чем минерал с меньшим номером, при нажатии царапает его.

Порядковыми шкалами в географии являются — бифуртова шкала ветров («штиль», «слабый ветер», «умеренный ветер» и т.д.), шкала силы землетрясений. Очевидно, нельзя утверждать, что землетрясение в 2 балла (лампа качнулась под потолком — такое бывает и в Москве) ровно в 5 раз слабее, чем землетрясение в 10 баллов (полное разрушение всего на поверхности земли).

В медицине порядковыми шкалами являются — шкала стадий гипертонической болезни (по Мясникову), шкала степеней сердечной недостаточности (по Стражеско, Василенко, Лангу), шкала степени выраженности коронарной недостаточности (по Фогельсону), и т.д. Все эти шкалы построены по схеме: заболевание не обнаружено; первая стадия заболевания; вторая стадия; третья стадия. Иногда выделяют стадии 1а, 1б и др. Каждая стадия имеет свойственную только ей медицинскую характеристику. При описании групп инвалидности числа иногда используются в противоположном порядке: самая тяжелая — первая группа инвалидности, затем — вторая, самая легкая — третья.

Номера домов также измерены в порядковой шкале — они показывают, в каком порядке стоят дома вдоль улицы. Номера томов в собрании сочинений писателя или номера дел в архиве предприятия обычно связаны с хронологическим порядком их создания.

При оценке качества продукции и услуг, в т.н. *квалиметрии* (буквальный перевод: измерение качества) популярны порядковые шкалы. А именно, единица продукции оценивается как годная или не годная. При более тщательном анализе используется шкала с тремя градациями: есть значительные дефекты — присутствуют только незначительные дефекты — нет дефектов. Иногда применяют четыре градации: имеются критические дефекты (делающие невозможным использование контролируемой единицы продукции) — есть значительные дефекты — присутствуют только незначительные дефекты — нет дефектов. Аналогичный смысл имеет сортность продукции — высший сорт, первый сорт, второй сорт,...

При оценке экологических воздействий первая, наиболее обобщенная оценка — обычно порядковая, например: природная среда стабильна — природная среда угнетена (деградирует). Аналогично

в эколого-медицинской шкале: нет выраженного воздействия на здоровье людей — отмечается отрицательное воздействие на здоровье.

Все шкалы измерения делят на две группы — шкалы качественных признаков и шкалы количественных признаков.

Порядковая шкала и шкала наименований — основные шкалы качественных признаков. Поэтому во многих конкретных областях результаты качественного анализа можно рассматривать как измерения по этим шкалам.

Шкалы количественных признаков — это шкалы интервалов, отношений, разностей, абсолютная. В них к отношениям равенства и порядка добавляются отношения, связанные с наличием единицы измерения и начала отсчета.

По шкале *интервалов* измеряют величину потенциальной энергии, координату точки на прямой (а также координаты точки на плоскости или в пространстве), географическую долготу (отсчитываемую в настоящее время от произвольно выбранного меридиана Гринвичской обсерватории в Великобритании), температуру по Цельсию, Фаренгейту или Реомюру. Во всех этих случаях на шкале нельзя отметить ни естественное начало отсчета, ни естественную единицу измерения. Исследователь должен сам задать точку отсчета и сам выбрать единицу измерения. Часто путем соглашения договариваются о выборе определенной единицы измерения, фиксируют начало отсчета, но произвольность подобного договора очевидна (например, в случае географической долготы).

Допустимыми преобразованиями в шкале интервалов являются линейные возрастающие преобразования, то есть линейные функции. Температурные шкалы Цельсия и Фаренгейта связаны именно такой зависимостью:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32), \quad (4.1)$$

где $^{\circ}\text{C}$ — температура (в градусах) по шкале Цельсия, а $^{\circ}\text{F}$ — температура по шкале Фаренгейта.

При допустимых преобразованиях в школе интервалов сохраняется отношение длин интервалов:

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{\varphi(x_1) - \varphi(x_2)}{\varphi(x_3) - \varphi(x_4)} \quad (4.2)$$

для любых чисел x_1, x_2, x_3, x_4 (результатов измерений) и любого допустимого преобразования $\varphi(x) = ax + b$, $a > 0$. Верно и обратное: если равенство (4.2) справедливо для любых чисел x_1, x_2, x_3, x_4 , то $\varphi(x) = ax + b$, $a > 0$ при некоторых значениях коэффициентов a и b .

Из количественных шкал наиболее распространенными в науке и практике являются шкалы *отношений*. В них есть естественное на-

чало отсчета — нуль, то есть отсутствие величины, но нет естественной единицы измерения. По шкале отношений измерены большинство физических единиц: масса тела, длина, работа, мощность, заряд, напряжение, а также цены в экономике. Допустимыми преобразованиями в шкале отношений являются подобные (изменяющие только масштаб). Другими словами, линейные возрастающие преобразования без свободного члена. Примером является пересчет цен из одной валюты в другую по фиксированному курсу.

При допустимых преобразованиях в шкале отношений сохраняется отношение измеряемых величин:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\varphi(x_1)}{\varphi(x_2)} \quad (4.3)$$

для любых чисел x_1 и x_2 (результатов измерений) и любого допустимого преобразования $\varphi(x) = ax$, $a > 0$. Верно и обратное: если равенство (4.3) справедливо для любых чисел x_1 и x_2 , то $\varphi(x) = ax$, $a > 0$ при некотором значении коэффициента a .

Предположим, мы сравниваем экономическую эффективность двух инвестиционных проектов, используя цены в рублях. Пусть первый проект оказался лучше второго. Теперь перейдем на валюту самой экономически мощной державы мира — юани, используя фиксированный курс пересчета. (В эконометрике [92] с помощью расчетов на основе паритета покупательной способности установлено, что в настоящее время валовой внутренний продукт Китая больше, чем у какой-либо иной страны, в частности больше, чем у Европейского союза (второе место) и США (третье место).) Очевидно, первый проект должен опять оказаться более выгодным, чем второй. Это очевидно из общих экономических соображений. Однако алгоритмы расчета не обеспечивают автоматического выполнения этого очевидного условия. Надо проверять, что оно выполнено. Результаты подобной проверки для средних величин описаны ниже. Оказалось, что нельзя произвольно выбирать вид средних величин, необходимо согласовывать вид средней со шкалами измерения.

В шкале *разностей* есть естественная единица измерения, но нет естественного начала отсчета. Допустимыми преобразованиями в шкале разностей являются сдвиги. Время измеряется по шкале разностей, если год (или сутки — от полудня до полудня) принимаем естественной единицей измерения, и по шкале интервалов в общем случае. На современном уровне знаний естественного начала отсчета времени указать нельзя. Дату сотворения мира различные авторы рассчитывают по-разному, равно как и момент рождения Христова. Так, согласно новой статистической хронологии [54], разработанной группой извест-

ного историка акад. РАН А.Т. Фоменко, Господь Иисус Христос родился примерно в 1054 г. по принятому ныне летоисчислению в Стамбуле (он же — Царьград, Византия, Троя, Иерусалим, Рим). Позже те же исследователи обосновали несколько иную дату — 1152 год н.э. [55].

При допустимых преобразованиях в шкале разностей сохраняется разность измеряемых величин:

$$x_1 - x_2 = \varphi(x_1) - \varphi(x_2) \quad (4.4)$$

для любых чисел x_1 и x_2 (результатов измерений) и любого допустимого преобразования $\varphi(x) = x + b$. Верно и обратное: если равенство (4.4) справедливо для любых чисел x_1 и x_2 , то $\varphi(x) = x + b$ при некотором значении коэффициента сдвига b .

Только для *абсолютной* шкалы результаты измерений — числа в обычном смысле слова. Примером является число людей в комнате. Для абсолютной шкалы допустимым является только тождественное преобразование.

Шесть основных типов шкал измерения описаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные шкалы измерения

| Тип шкалы | Определение шкалы | Примеры | Группа допустимых преобразований $\Phi = \{\varphi\}$ |
|--|--|--|--|
| <i>Шкалы качественных признаков</i> | | | |
| Наименований | Числа используют для различения объектов | Номера телефонов, паспортов, ИНН, штрих-коды | Все взаимнооднозначные преобразования |
| Порядковая | Числа используют для упорядочения объектов | Оценки экспертов, баллы ветров, отметки в школе, полезность, номера домов | Все строго возрастающие преобразования |
| <i>Шкалы количественных признаков (описываются началом отсчета и единицей измерения)</i> | | | |
| Интервалов | Начало отсчета и единица измерения произвольны | Потенциальная энергия, положение точки, температура по шкалам Цельсия и Фаренгейта | Все линейные преобразования $\varphi(x) = ax + b$, a и b произвольны, $a > 0$ |
| Отношений | Начало отсчета задано, единица измерения произвольна | Масса, длина, мощность, напряжение, сопротивление, температура по Кельвину, цены | Все подобные преобразования $\varphi(x) = ax$, a произвольно, $a > 0$ |
| Разностей | Начало отсчета произвольно, единица измерения задана | Время | Все преобразования сдвига $\varphi(x) = x + b$, b произвольно |
| Абсолютная | Начало отсчета и единица измерения заданы | Число людей в данном помещении | Только тождественное преобразование $\varphi(x) = x$ |

Кроме перечисленных в табл. 4.1 используют и иные типы шкал [4, 123]. В табл. 4.1 выражение «единица измерения произвольна» означает, что она может быть выбрана по соглашению специалистов, но не вытекает из каких-либо фундаментальных соотношений. При измерении времени естественная единица измерения задается периодами обращения небесных тел. Начало отсчета при измерении длины задается длиной отрезка, у которого начало и конец совпадают, и т.д.

В настоящее время считается необходимым перед применением тех или иных алгоритмов анализа данных установить, в шкалах каких типов измерены рассматриваемые величины. В процессе развития соответствующей области знания тип шкалы измерения конкретной величины может меняться. Так, сначала температура измерялась по *порядковой* шкале (холоднее — теплее). Затем — по *интервальной* (использовались шкалы Цельсия, Фаренгейта, Реомюра). Так, температура °C по шкале Цельсия выражается через температуру 0F по шкале Фаренгейта с помощью линейного преобразования (4.1). Наконец, после открытия абсолютного нуля температуру можно считать измеренной по шкале *отношений* (шкала Кельвина). Среди специалистов иногда имеются разногласия по поводу того, по каким шкалам следует считать измеренными те или иные реальные величины. Другими словами, процесс измерения включает в себя как необходимый этап и определение типа шкалы (вместе с обоснованием выбора определенного типа шкалы).

4.2. ИНВАРИАНТНЫЕ АЛГОРИТМЫ И СРЕДНИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Основное требование к алгоритмам анализа данных формулируется в ТИ так: **выводы, сделанные на основе данных, измеренных в шкале определенного типа, не должны меняться при допустимом преобразовании шкалы измерения этих данных.** Другими словами, выводы должны быть *инвариантны* по отношению к допустимым преобразованиям шкалы.

Требование инвариантности (адекватности) выводов. Выяснение типов используемых шкал необходимо для адекватного выбора методов анализа данных. Основопологающим требованием является независимость выводов от того, какой именно шкалой измерения воспользовался исследователь (среди всех шкал, переходящих друг в друга при допустимых преобразованиях). Например, если речь о длинах, то выводы не должны зависеть от того, измерены ли длины в метрах, аршинах, саженьях, футах или дюймах.

Таким образом, одна из основных целей теории измерений — борьба с субъективизмом исследователя при приписывании численных значений реальным объектам. Так, расстояния можно измерять в аршинах, метрах, микронах, милях, парсеках и других единицах измерения. Массу (вес) — в пудах, килограммах, фунтах и др. Цены на товары и услуги можно указывать в юанях, рублях, тенге, гривнах, латах, кронах, марках, долларах США и других валютах (при условии заданных курсов пересчета). Подчеркнем очень важное, хотя и вполне очевидное обстоятельство: выбор единиц измерения зависит от исследователя, то есть субъективен. *Выводы могут быть адекватны реальности только тогда, когда они не зависят от того, какую единицу измерения предпочтет исследователь, то есть когда они инвариантны относительно допустимого преобразования шкалы.* Очевидно, что при разработке управленческих решений можно опираться только на инвариантные выводы.

Другими словами, выводы должны быть инвариантны относительно группы допустимых преобразований шкалы измерения. Только тогда их можно назвать адекватными, то есть избавленными от субъективизма исследователя, выбирающего определенную шкалу из множества шкал заданного типа, связанных допустимыми преобразованиями. В статье [4] требование инвариантности (адекватности) выводов формулируется как условие «содержательности» («состоятельности») высказывания.

Требование инвариантности выводов накладывает ограничения на множество возможных алгоритмов анализа данных. В качестве примера рассмотрим порядковую шкалу. Одни алгоритмы анализа данных позволяют получать адекватные выводы, другие — нет. Например, в задаче проверки однородности двух независимых выборок алгоритмы ранговой статистики (то есть использующие только ранги результатов измерений) дают адекватные выводы, а статистики Крамера — Уэлча и Стьюдента — нет. Значит, для обработки данных, измеренных в порядковой шкале, критерии Смирнова и Вилкоксона можно использовать, а критерии Крамера-Уэлча и Стьюдента — нет [92].

Оказывается, требование инвариантности является достаточно сильным. Из многих алгоритмов анализа статистических данных ему удовлетворяют лишь некоторые. Покажем это на примере сравнения средних величин.

Средние величины. Среди всех методов анализа данных важное место занимают алгоритмы усреднения. Еще в 1970-х гг. удалось полностью выяснить, какими видами средних можно пользоваться при анализе данных, измеренных в тех или иных шкалах.

Пусть X_1, X_2, \dots, X_n — выборка объема n . Часто используют среднее арифметическое

$$X_{\text{ср}} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}.$$

Использование среднего арифметического настолько привычно, что второе слово в термине часто опускают. И говорят о средней зарплате, среднем доходе и других средних для конкретных экономических данных, подразумевая под «средним» среднее арифметическое. Такая традиция может приводить к ошибочным выводам. Покажем это на примере расчета средней заработной платы (среднего дохода) работников условного предприятия (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Численность работников различных категорий, их заработная плата и доходы (в условных единицах)

| № п/п | Категория работников | Число работников | Зарботная плата | Суммарные доходы |
|-------|---------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | Низкоквалифицированные рабочие | 40 | 100 | 4 000 |
| 2 | Высококвалифицированные рабочие | 30 | 200 | 6 000 |
| 3 | Инженеры и служащие | 25 | 300 | 7 500 |
| 4 | Менеджеры | 4 | 1000 | 4 000 |
| 5 | Генеральный директор (владелец) | 1 | 18 500 | 18 500 |
| 6 | Всего | 100 | | 40 000 |

Первые три строки в табл. 4.2 вряд ли требуют пояснений. Менеджеры — это директора по направлениям, а именно по производству (главный инженер), по финансам, по маркетингу и сбыту, по персоналу (по кадрам). Владелец сам руководит предприятием в качестве генерального директора. В столбце «заработная плата» указаны доходы одного работника соответствующей категории, а в столбце «суммарные доходы» — доходы всех работников соответствующей категории.

Фонд оплаты труда составляет 40 000 единиц, работников всего 100, следовательно, средняя заработная плата составляет $40\,000/100 = 400$ единиц. Однако эта средняя арифметическая величина явно не соответствует интуитивному представлению о «средней зарплате». Из 100 работников лишь 5 имеют заработную плату, ее превышающую, а зарплата остальных 95 существенно меньше средней арифметической. Причина очевидна: заработная плата одного человека — генерального директора — превышает заработную плату 95 работников — низкоквалифицированных и высококвалифицированных рабочих, инженеров и служащих, вместе взятых.

Ситуация напоминает описанную в известном рассказе о больнице, в которой 10 больных, из них у 9 температура 40°C , а один уже отмучился, лежит в морге с температурой 0°C . Между тем средняя температура по больнице равна 36°C — лучше не бывает!

Из сказанного ясно, что не всегда целесообразно использовать среднее арифметическое. Его можно порекомендовать лишь для достаточно однородных совокупностей (без больших выбросов в ту или иную сторону).

А какие средние стоит применять для описания заработной платы? Вполне естественно использовать медиану. Для данных табл. 4.2 медиана — среднее арифметическое 50-го и 51-го работника, если их заработные платы расположены в порядке неубывания. Сначала идут зарплаты 40 низкоквалифицированных рабочих, а затем — с 41-го до 70-го работника — заработные платы высококвалифицированных рабочих. Следовательно, медиана попадает именно на них и равна 200. У 50 работников заработная плата не превосходит 200, и у 50 — не менее 200, поэтому медиана показывает «центр», около которого группируется основная масса исследуемых величин. Еще одна средняя величина — мода, наиболее часто встречающееся значение. В рассматриваемом случае это заработная плата низкоквалифицированных рабочих, то есть 100. Таким образом, для описания зарплаты имеем три средние величины — моду (100 единиц), медиану (200 единиц) и среднее арифметическое (400 единиц). Для наблюдающихся в реальной экономике распределений доходов и заработной платы справедлива та же закономерность: мода меньше медианы, а медиана меньше среднего арифметического.

Для чего при разработке управленческих решений [77] используются средние величины? Обычно для того, чтобы заменить совокупность чисел одним числом, чтобы сравнивать совокупности с помощью средних.

Пусть, например, Y_1, Y_2, \dots, Y_n — совокупность оценок экспертов, «выставленных» одному объекту экспертизы (например, одному из вариантов стратегического развития фирмы), Z_1, Z_2, \dots, Z_n — второму (другому варианту такого развития). Как сравнивать эти совокупности? Очевидно, самый простой способ — по средним значениям.

А как вычислять средние? Известны различные виды средних величин: среднее арифметическое, медиана, мода, среднее геометрическое, среднее гармоническое, среднее квадратическое. Напомним, что общее понятие средней величины введено французским математиком первой половины XIX в. академиком О. Коши. Оно таково: средней величиной является любая функция $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ такая, что при всех

возможных значениях аргументов значение этой функции не меньше, чем минимальное из чисел X_1, X_2, \dots, X_n , и не больше, чем максимальное из этих чисел. Все перечисленные выше виды средних величин являются средними по Коши.

При допустимом преобразовании шкалы значение средней величины, очевидно, меняется. Но выводы о том, для какой совокупности среднее больше, а для какой — меньше, не должны меняться (в соответствии с условием инвариантности выводов, принятым как основное требование в ТИ). Сформулируем соответствующую математическую задачу поиска вида средних величин, результат сравнения которых устойчив относительно допустимых преобразований шкалы.

Пусть $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ — среднее по Коши. Пусть среднее по первой совокупности меньше среднего по второй совокупности:

$$f(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) < f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n).$$

Тогда согласно ТИ для устойчивости результата сравнения средних необходимо, чтобы для любого допустимого преобразования g из группы допустимых преобразований в соответствующей шкале было справедливо также неравенство

$$f(g(Y_1), g(Y_2), \dots, g(Y_n)) < f(g(Z_1), g(Z_2), \dots, g(Z_n)),$$

то есть среднее преобразованных значений из первой совокупности также было меньше среднего преобразованных значений для второй совокупности. Причем сформулированное условие должно быть выполнено для любых двух совокупностей Y_1, Y_2, \dots, Y_n и Z_1, Z_2, \dots, Z_n и, напомним, любого допустимого преобразования g .

Средние величины, удовлетворяющие сформулированному условию, назовем *допустимыми* (в соответствующей шкале). Согласно ТИ только допустимыми средними величинами можно пользоваться при анализе мнений экспертов и иных данных, измеренных в рассматриваемой шкале.

С помощью математической теории, развитой в монографии [89], удается описать вид допустимых средних величин в основных шкалах. Сразу ясно, что для данных, измеренных в шкале наименований, допустимых средних нет, поскольку допустимые в этой шкале преобразования — а ими являются все взаимно однозначные преобразования — могут как угодно перемешать значения усредняемых величин.

4.3. СРЕДНИЕ ВЕЛИЧИНЫ В ПОРЯДКОВОЙ ШКАЛЕ

Рассмотрим сначала обработку мнений экспертов, измеренных в порядковой шкале. Справедливо следующее утверждение.

Теорема 4.1. Из всех средних по Коши допустимыми средними в порядковой шкале являются только члены вариационного ряда (порядковые статистики).

Теорема 4.1, впервые полученная в статье [62], справедлива при условии, что средняя величина $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ является непрерывной (по совокупности переменных) и симметрической функцией. Последнее означает, что при перестановке аргументов значение функции $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ не меняется. Это условие — вполне естественное, ибо среднюю величину находим для *совокупности* (множества) чисел, а не для *последовательности*. Множество не меняется в зависимости от того, в какой последовательности мы перечисляем его элементы.

Согласно теореме 4.1, в качестве среднего для данных, измеренных в порядковой шкале, можно использовать, в частности, медиану (при нечетном объеме выборки). При четном же объеме целесообразно применять один из двух центральных членов вариационного ряда — как их иногда называют, левую медиану или правую медиану. Моду тоже можно использовать — она всегда является членом вариационного ряда. Можно применять выборочные квартили, минимум и максимум, децили и т.п. Но теорема 4.1 запрещает использовать при анализе порядковых данных (то есть измеренных в порядковой шкале) среднее арифметическое, среднее геометрическое и т.д. Таким образом, не рекомендуется разрабатывать управленческое решение на основе среднего арифметического или среднего геометрического мнений экспертов, поскольку такие мнения, как разъяснено выше, обычно измерены в порядковой шкале.

Приведем численный пример, показывающий некорректность использования среднего арифметического $f(X_1, X_2) = (X_1 + X_2)/2$ в порядковой шкале. Пусть $Y_1 = 1, Y_2 = 11, Z_1 = 6, Z_2 = 8$. Тогда $f(Y_1, Y_2) = 6$, что меньше, чем $f(Z_1, Z_2) = 7$. Пусть строго возрастающее преобразование g таково, что $g(1) = 1, g(6) = 6, g(8) = 8, g(11) = 99$. Таких преобразований много. Например, можно положить $g(x) = x$ для x , не превосходящих 8, и $g(x) = 99(x - 8)/3 + 8$ для x , больших 8. Тогда $f(g(Y_1), g(Y_2)) = 50$, что больше, чем $f(g(Z_1), g(Z_2)) = 7$. Как видим, в результате допустимого, то есть строго возрастающего преобразования шкалы упорядоченность средних величин изменилась.

Таким образом, теория измерений выносит жесткий приговор среднему арифметическому — использовать его в порядковой шкале нельзя. Однако же те, кто не знает теории измерений, используют его. Всегда ли они ошибаются? Оказывается, можно в какой-то мере (но отнюдь не полностью!) реабилитировать среднее арифметическое, если перейти к вероятностной постановке и к тому же удовлетвориться

результатами для больших объемов выборок. В монографии [89] кроме теоремы 4.1 доказано также следующее утверждение.

Теорема 4.2. Пусть Y_1, Y_2, \dots, Y_m — независимые одинаково распределенные случайные величины с функцией распределения $F(x)$, а Z_1, Z_2, \dots, Z_n — независимые одинаково распределенные случайные величины с функцией распределения $H(x)$, причем выборки Y_1, Y_2, \dots, Y_m и Z_1, Z_2, \dots, Z_n независимы между собой и $MY_1 > MZ_1$. Для того, чтобы вероятность события

$$\left\{ \omega : \frac{g(Y_1) + g(Y_2) + \dots + g(Y_m)}{m} > \frac{g(Z_1) + g(Z_2) + \dots + g(Z_n)}{n} \right\}$$

стремилась к 1 при $\min(m, n) \rightarrow \infty$ для любой строго возрастающей непрерывной функции g , удовлетворяющей условию

$$\lim_{|x| \rightarrow \infty} \left| \frac{g(x)}{x} \right| \rightarrow \infty,$$

необходимо и достаточно, чтобы при всех x выполнялось неравенство $F(x) \leq H(x)$, причем существовало число x_0 , для которого $F(x_0) < H(x_0)$.

Примечание. Условие с верхним пределом носит чисто внутриматематический характер. Фактически функция g — произвольное допустимое преобразование в порядковой шкале.

Согласно теореме 4.2, средним арифметическим можно пользоваться и в порядковой шкале, если сравниваются выборки из двух распределений, удовлетворяющих приведенному в теореме неравенству. Проще говоря, одна из функций распределения должна всегда лежать над другой. Функции распределения не могут пересекаться, им разрешается только касаться друг друга. Это условие выполнено, например, если функции распределения отличаются только сдвигом, то есть

$$F(x) = H(x+b)$$

при некотором b . Последнее условие выполняется, если два значения некоторой величины измеряются с помощью одного и того же средства измерения, у которого распределение погрешностей не меняется при переходе от измерения одного значения рассматриваемой величины к измерению другого.

4.4. СРЕДНИЕ ПО КОЛМОГОРОВУ

Естественная система аксиом (требований к средним величинам) приводит к так называемым ассоциативным средним. Их общий вид нашел в 1930 г. А.Н.Колмогоров [28]. Теперь их называют «средними по Колмогорову».

Для чисел X_1, X_2, \dots, X_n средним по Колмогорову является

$$G\{(F(X_1) + F(X_2) + \dots + F(X_n))/n\},$$

где F — строго монотонная функция (то есть строго возрастающая или строго убывающая), G — функция, обратная к F .

Среди средних по Колмогорову — много хорошо известных персонажей. Так, если $F(x) = x$, то среднее по Колмогорову — это среднее арифметическое, если $F(x) = \ln x$, то среднее геометрическое, если $F(x) = 1/x$, то среднее гармоническое, если $F(x) = x^2$, то среднее квадратическое, и т.д. (в последних трех случаях усредняются положительные величины).

Средние по Колмогорову — частный случай средних по Коши. С другой стороны, такие популярные средние, как медиана и мода, нельзя представить в виде средних по Колмогорову.

В статье [61] впервые доказаны следующие утверждения.

Теорема 4.3. При справедливости некоторых внутриматематических условий регулярности в шкале интервалов из всех средних по Колмогорову допустимым является только среднее арифметическое.

Таким образом, среднее геометрическое или среднее квадратическое температур (в шкале Цельсия), потенциальных энергий или координат точек не имеют смысла. В качестве среднего надо применять среднее арифметическое. А также можно использовать медиану или моду — они не входят в число средних по Колмогорову.

Теорема 4.4. При справедливости некоторых внутриматематических условий регулярности в шкале отношений из всех средних по Колмогорову допустимыми являются только степенные средние с $F(x) = x^c$, $c \neq 0$ и среднее геометрическое.

Есть ли средние по Колмогорову, которыми нельзя пользоваться в шкале отношений? Конечно, есть. Например, с $F(x) = e^x$.

Замечание 1. Среднее геометрическое является пределом степенных средних при $c \rightarrow 0$.

Замечание 2. Подробное описание «внутриматематических условий регулярности», упомянутых в формулировках теорем 4.3 и 4.4, можно найти в [83, 89]. Доказательства теорем 4.1 — 4.4 приведены в монографии [89]. Перенос на случай взвешенных средних дан в статье [83].

Аналогично средним величинам могут быть изучены и другие статистические характеристики — показатели разброса, связи, расстояния и др. (см., например, [83, 123]). Нетрудно показать, например, что коэффициент корреляции не меняется при любом допустимом преобразовании в шкале интервалов, как и отношение дисперсий. Диспер-

сия не меняется в шкале разностей, коэффициент вариации — в шкале отношений, и т.д.

Приведенные выше результаты о средних величинах широко применяются, причем не только в экспертных исследованиях, но и в теории принятия решений, экономике, менеджменте, социологии, медицине, инженерном деле. Например, для анализа методов агрегирования датчиков в АСУ ТП (автоматизированных системах управления технологическими процессами) доменных печей. Велико прикладное значение теории измерений в задачах стандартизации и управления качеством, в частности в квалиметрии [32, 62]. Обзор [4] посвящен анализу многочисленных работ последних десятилетий, посвященных связи теории измерений и теории средних величин.

При подготовке и принятии инженерных, технико-экономических и иных решений необходимо использовать только инвариантные алгоритмы обработки данных. В настоящей главе показано, что требование инвариантности выделяет из многих алгоритмов усреднения лишь некоторые, соответствующие используемым шкалам измерения. Инвариантные алгоритмы в общем случае рассматриваются в математической теории измерений [110]. Нацеленное на прикладные исследования изложение ряда вопросов теории измерений дается в монографиях [89, 92, 123, 17, 18]. Теория измерений применяется в задачах управления промышленной и экологической безопасностью [79, 101, 126]. Она входит в организационно-экономическое, математическое и инструментальное контроллинга, инноваций и менеджмента [98], относится к перспективным математическим методам контроллинга [97]. Теория измерений является важной составной частью математики XXI века — системной нечеткой интервальной математики [96]. Современные подходы к наукометрии и управлению наукой также основаны на теории измерений [38].

Контрольные вопросы и задания

1. Всегда ли имеет смысл складывать числа, используемые в той или иной области человеческой деятельности?
2. Приведите примеры величин, измеренных в шкале наименований.
3. Приведите примеры величин, измеренных в порядковой шкале.
4. Приведите примеры величин, измеренных в шкале интервалов.
5. Приведите примеры величин, измеренных в шкале отношений.
6. Постройте пример, показывающий некорректность использования среднего арифметического $f(X_1, X_2) = (X_1 + X_2)/2$ в порядковой шкале, используя допустимое преобразование $g(x) = x^2$ (при положительных усредняемых величинах x).

зую допустимое преобразование $g(x) = x^2$ (при положительных усредняемых величинах x).

7. Постройте пример, показывающий некорректность использования среднего геометрического в порядковой шкале. Другими словами, приведите пример чисел x_1, x_2, y_1, y_2 и строго возрастающего преобразования $f: R^1 \rightarrow R^1$ таких, что

$$(x_1 x_2)^{1/2} < (y_1 y_2)^{1/2}, [f(x_1) f(x_2)]^{1/2} > [f(y_1) f(y_2)]^{1/2}.$$

8. Постройте пример, показывающий некорректность использования среднего квадратического в порядковой шкале. Другими словами, приведите пример чисел x_1, x_2, y_1, y_2 и строго возрастающего преобразования $f: R^1 \rightarrow R^1$ таких, что

$$[(x_1)^2 + (x_2)^2]^{1/2} < [(y_1)^2 + (y_2)^2]^{1/2},$$

$$[(f(x_1))^2 + (f(x_2))^2]^{1/2} > [(f(y_1))^2 + (f(y_2))^2]^{1/2}.$$

9. Постройте пример, показывающий некорректность использования среднего гармонического в порядковой шкале.
10. Постройте пример, показывающий некорректность использования среднего геометрического в шкале интервалов.
11. Какие средние величины целесообразно использовать при расчете средней заработной платы (или среднего дохода)?
12. Как соотносятся средние по Коши и средние по Колмогорову?
13. В каждом вопросе выберите правильный ответ из нескольких возможных.
 - 13.1. Метод экспертных оценок применяется:
 - а) для снятия ответственности с руководителя;
 - б) в чисто научных исследованиях;
 - в) для решения практических задач, стоящих перед менеджерами.
 - 13.2. Номера телефонов измерены в шкале:
 - а) интервалов;
 - б) наименований;
 - в) порядковой.
 - 13.3. Оценки знаний измерены в шкале:
 - а) интервалов;
 - б) наименований;
 - в) порядковой.
 - 13.4. При анализе данных, измеренных в порядковой шкале, можно вычислять:
 - а) среднее арифметическое;
 - б) медиану;
 - в) среднее геометрическое.

13.5. При анализе данных, измеренных в шкале интервалов, можно вычислять:

- а) среднее гармоническое;
- б) среднее арифметическое;
- в) среднее геометрическое.

13.6. Для получения итогового мнения экспертной комиссии мнения экспертов целесообразно усреднять с помощью:

- а) среднего арифметического;
- б) медианы;
- в) среднего арифметического и медианы, сопоставляя результаты.

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Теория измерений как научная дисциплина, посвященная гомоморфизмам эмпирических систем с отношениями в числовые системы с отношениями.
2. Показатели разброса, связи, показатели различия (в том числе метрики) в порядковой шкале.
3. Ранговые методы математической статистики как инвариантные методы анализа порядковых данных.
4. Показатели разброса, связи, показатели различия (в том числе метрики) в шкале интервалов.
5. Показатели разброса, связи, показатели различия (в том числе метрики) в шкале отношений.
6. Теорема В.В. Подиновского: любое изменение коэффициентов весомости единичных показателей качества продукции приводит к изменению упорядочения изделий по средневзвешенному показателю (доказательство и прикладное значение).

Глава 5

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (РЕЙТИНГА)

Слово «рейтинг» происходит от англ. *to rate* (оценивать) и *rating* (оценка, оценивание). Рейтинги строят обычно на основе анализа многих показателей, как объективных, так и оцениваемых экспертно. Технологии объединения оценок единичных показателей в групповые и обобщенные также обычно бывают экспертными. Примером достаточно сложного рейтинга является оценка вероятности успешного выполнения инновационного проекта (глава 6). Рейтинги используются в различных процедурах принятия решений для оценивания, выбора, планирования. В настоящей главе рассматриваются основные задачи построения рейтингов.

5.1. ОПЕРАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Простые (оперативные) методы экспертных оценок не требуют применения развитого математического аппарата. Тем не менее во многих практически важных случаях их применения вполне достаточно.

Некоторые методы принятия решений в стратегическом менеджменте. Начнем с обсуждения нескольких широко используемых практических инструментов принятия решений в стратегическом менеджменте [77, 136].

Исходные пункты стратегического планирования:

- структура конкурентов;
- структура рынков сбыта;
- тенденции технического развития и эволюции моды;
- структура рынков снабжения;
- правовая, социальная, экономическая, экологическая и политическая окружающая среда;
- собственные сильные и слабые стороны.

На основе перечисленных данных в соответствии с миссией фирмы выбираются цели на длительную перспективу и анализируются ресурсы, которые для этого необходимы.

Инструменты стратегического планирования: анализ «разрывов»; анализ шансов и рисков (сильных и слабых сторон); анализ портфеля; метод проверочного списка; метод оценки по системе баллов; концепция жизненного цикла товара; иные методы прогнозирования, планирования и принятия решений. Кратко обсудим эти инструменты.

При анализе «разрывов» сравнивают три возможных сценария развития фирмы, разработанных экспертами:

- какого оборота (прибыли и других характеристик работы предприятия) можно достичь, если в будущем в процессе продаж ничего не изменится (сценарий А);
- какого оборота можно достичь, если попытаться при максимальном напряжении сил проникнуть более интенсивно с существующим продуктом на существующие рынки (сценарий Б)
- и если дополнительно развивать новые продукты и/или новые рынки (сценарий В).

Разницу между результатами по сценариям Б и А называют оперативным разрывом, а между результатами по сценариям В и Б — стратегическим разрывом. Эта терминология подчеркивает роль нововведений в стратегическом плане фирмы — разработки новых продуктов или выхода на новые рынки, или и того и другого вместе.

Матрица портфеля Бостонской консалтинговой группы. Может оказаться полезным анализ портфеля предприятия (табл. 5.1). Речь идет не о стратегическом планировании для всего предприятия, а для его «стратегических подразделений». Они выделяются комбинациями «продукт-рынок», которые:

- однородны, то есть нацелены на определенный достаточно однородный круг потребителей;
- могут действовать независимо от других подразделений предприятия;
- распоряжаются достаточно большой долей рынка, чтобы проведение исследований по разработке специфической стратегии было выгодным.

Таблица 5.1

Матрица портфеля Бостонской консалтинговой группы

| | | |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| Высокий | 1. «Звезды» | 3. «Знак вопроса» |
| Низкий | 2. «Дойные коровы» | 4. «Собаки» |
| Рост спроса / рыночная доля | Высокая | Низкая |

Границы между «высокими» и «низкими» значениями определяют с помощью опроса экспертов. Внеся товары (с учетом их доли в обороте фирмы) в соответствующие клетки табл. 5.1, можно рассчитать

долю особо успешных товаров типа 1 («звезды»), которые, возможно, нуждаются в дальнейшем финансировании для увеличения и закрепления успеха. Хотя рост спроса на товары типа 2 («дойные коровы») низок, но из-за большой доли рынка они могут еще долго приносить хороший доход на мало меняющихся (стагнирующих) рынках. Судьба товаров типа 3 («знак вопроса») неясна. Оправданны ли большие финансовые затраты на расширение их доли на рынке? Товары типа 4 («собаки») «зарабатывают» лишь себе на жизнь.

На основе анализа табл. 5.1 можно проанализировать несколько возможных стратегий развития фирмы:

- «строить», то есть «знаки вопроса» переводить в «звезды»;
- «держат», то есть «дойные коровы» должны удерживать свои доли рынка и стремиться к росту, прежде всего для поддержки «звезд» и «знаков вопроса»;
- «собирать урожай», то есть не принимая во внимание долгосрочные последствия, снимать сиюминутные сливки (при этом идет речь о «слабых» — «дойных коровах», «собаках» и «знаках вопроса»);
- «выселяться», то есть «собаки» и «знаки вопроса» забираются с рынка (перестают выпускаться), поскольку они ничего не приносят фирме и не ожидается их рост, и т.д.

Какую стратегию выбрать? Это зависит от экспертов — руководителей фирмы. При определении целей и стратегий дальнейшего развития стратегические подразделения нуждаются во взаимной координации, однако, по мнению ряда управленцев, без подавления их самобытности (другими словами, со стороны руководства фирмы должно осуществляться контролируемое децентрализованное руководство). Руководство фирмы должно направить отдельные подразделения на привлекательные рынки, обнаружить и использовать синергетический эффект от их взаимодействия и рационально распределить ресурсы. Так, руководство фирмы должно способствовать тому, чтобы «дойные коровы» передали часть дохода «звездам».

В таблице 5.1 сопоставлены такие характеристики выпускаемого товара, как «рост спроса» и «доля рынка». Ясно, что высокий рост соответствует ранней стадии жизненного цикла товара, а низкий — поздней стадии. Обычно высокая доля рынка сигнализирует о продолжительном периоде получения прибыли, а низкая — о коротком. Так, высокая доля рынка может быть из-за слабой конкуренции. Рыночный лидер может иметь преимущество в издержках на одно изделие — эффект масштаба производства!

Методы списка и суммарной оценки. Широко используемыми и весьма полезными инструментами стратегического планирования

и управления являются также метод проверочного списка и метод оценки по системе баллов. Первый из них весьма прост. Выделяется (экспертно!) некоторое количество «факторов успеха», и всем рассматриваемым проектам даются оценки (например, с помощью комиссии экспертов) по этим факторам. Например, в табл. 5.2 представлен бланк проверочного списка для проектов, состоящих в организации выпуска тех или иных товаров (стратегии типа «продукт-рынок»).

Таблица 5.2

Пример проверочного списка

| Фактор | Продукт | | |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|
| | А | Б | В |
| Степень инноваций | хорошо | средне | плохо |
| Число возможных покупателей | плохо | хорошо | средне |
| Готовность к кооперации в торговле | средне | хорошо | хорошо |
| Барьеры для вхождения новых продавцов | хорошо | плохо | плохо |
| Обеспеченность сырьем | плохо | средне | хорошо |

Обратите внимание: оценки даются в качественном виде (измерены в порядковой шкале — о шкалах измерения см. параграф 3.1). Любая количественная определенность была бы при подобных оценках лишь иллюзией.

Целесообразно разделить факторы на «обязательные», «необходимые» и «желательные», то есть ввести веса факторов, выраженные в качественном виде. Правило принятия решения может иметь вид: «Форсируй планирование тех стратегий типа «продукт-рынок», при которых все обязательные факторы и по меньшей мере два необходимых соответствуют оценке «хорошо». Как задают подобные правила принятия решений? Разумеется, с помощью экспертов.

Методу проверочного списка, в котором как оценки отдельных факторов, так и веса факторов и способы принятия решений имеют качественный характер, соответствует количественный двойник — метод суммарной оценки.

Конечно, с числами оперировать гораздо легче, чем с качественными оценками. Недаром математики обычно рвутся «оцифровать» качественные факторы и веса. Но при этом, как мы знаем из теории измерений (см. гл. 3), в окончательные выводы может быть внесен субъективизм, связанный с выбором способа «оцифровки» качественных оценок и весов. Обратите внимание в связи со сказанным на обсуждение ниже методов принятия решений, основанных на применении взвешенных оценок факторов экспертами, где, в частности, даны

рекомендации по снижению субъективизма в выборе весов факторов в единой суммарной оценке.

Пример 5.1. Рассмотрим условный пример по вычислению и использованию единой суммарной оценки. Пусть оценки факторов 1 и 2 для продуктов *А* и *Б* даны в табл. 5.3 (для простоты изложения мы опускаем способы получения численных значений в табл. 5.3 — на основе объективных данных или экспертно — и не рассматриваем погрешности этих значений). Для получения суммарной оценки необходимо знать веса факторов. Пусть фактор 1 оценивается экспертами как вдвое более важный, чем фактор 2. Поскольку сумма весов факторов должна составлять 1, то вес фактора 1 есть 0,67, а фактора 2 — 0,33.

Таблица 5.3

Метод суммарной балльной оценки

| Фактор | Продукт | |
|--------|---------|-----|
| | А | Б |
| 1 | 40% | 90% |
| 2 | 50% | 20% |

Суммарная оценка по продукту *А* равна

$$0,67 \cdot 40\% + 0,33 \cdot 50\% = 26,8\% + 16,5\% = 43,3\%,$$

а суммарная оценка по продукту *Б* равна

$$0,67 \cdot 90\% + 0,33 \cdot 20\% = 60,3\% + 6,6\% = 66,9\%.$$

Однако получение суммарных оценок — только этап процесса принятия решений. Нужен еще критерий отбора — какими продуктами заниматься, а какими нет. Простейшая формулировка состоит в задании границы. Если суммарная оценка продукта больше этой границы, то связанная с ним работа по планированию продолжается, если же нет — он исключается из рассмотрения как малоперспективный. Если в рассматриваемом случае такая граница выбрана экспертами на уровне 55%, то работа над продуктом *А* прекращается, а над продуктом *Б* — продолжается.

Отметим, что принятие решения на основе границы несколько снижает влияние конкретных правил оцифровки. Например, если для продукта *А* оценки по факторам *А* и *Б* поднимутся на 10% и достигнут соответственно значений 50% и 60%, то суммарная оценка окажется равной

$$0,67 \cdot 50\% + 0,33 \cdot 60\% = 33,5\% + 19,8\% = 53,3\%,$$

то есть общее решение не меняется, продукт *А* остается среди малоперспективных.

Менеджер — главное лицо в перспективном планировании. Если прогнозирование — научно-исследовательская работа, ее результаты можно сравнить с прожектором, освещающим основные черты грядущего, то планирование — частный вид принятия решений. Для стратегического планирования могут быть использованы не только те методы подготовки и принятия решений, о которых говорится выше в настоящей главе, но и весь арсенал современной теории разработки и принятия управленческих решений [16, 23, 34, 43, 130].

Однако все эти простые приемы или хитроумные компьютерные расчеты — лишь подспорье для менеджера [64]. Именно он несет ответственность за судьбу фирмы, на свое знание дела, на свою интуицию он должен полагаться при принятии решений в стратегическом менеджменте [44, 77, 136].

При обсуждении проблем стратегического менеджмента рассмотрен ряд оперативных приемов принятия решений — анализ «разрывов», анализ шансов и рисков (сильных и слабых сторон), анализ портфеля, метод проверочного списка, метод оценки по системе баллов и др. Такие методы хорошо применять при быстром сравнении вариантов, например на совещании менеджеров высшего звена. Как именно применять?

Пример 5.2. Рассмотрим в качестве примера матрицу портфеля Бостонской консалтинговой группы. Согласно этому методу подготовки управленческих решений товары, выпускаемые фирмой, распределяются по клеткам табл. 5.1. Однако совершенно ясно, что такое распределение может служить лишь отправной точкой для дальнейшего анализа.

Действительно, необходимо опираться на данные о прибыли и рентабельности тех или иных товаров. Ясно, например, что высокий рост спроса на товар типа «знак вопроса» может быть обеспечен демпинговой ценой ниже себестоимости.

Необходимо оценить динамику смены марок товаров, понять, насколько долго смогут удержаться на рынке «дойные коровы», насколько высоко смогут взлететь «звезды».

Специального рассмотрения заслуживают «собаки». Возможно, они вытесняются другими товарами. Но возможно и иное — их покупатели представляют собой отдельный рынок, лишь из-за недостатков предварительного анализа присоединенный к общему рынку. Тогда постановка задачи меняется. Руководство фирмы не должно сравнивать «собак» с другими товарами. Ему следует решить совсем иной вопрос — обслуживать ли сравнительно небольшой рынок покупателей «собак» или же отдать его конкурентам.

Бесспорно совершенно, что обоснованные решения не могут приниматься на основе только анализа матрицы портфеля Бостонской консалтинговой группы. Впрочем, это верно и для любого иного метода подготовки решений. Только всесторонний анализ с использованием многих методов может дать руководству организации необходимые аргументы для принятия обоснованного решения. Но и в этом случае ответственность лежит на «лицах, принимающих решение» — на менеджерах.

Оперативных приемов принятия решений, или, в другой терминологии, простых методов принятия решений, существует весьма много. Один из них — изложить ситуацию в письменном виде. Эта простая рекомендация часто оказывается весьма полезной. Дело в том, что при составлении описания приходится уточнять многие факты и оценки, которые обычно не удается сопоставить при размышлениях. Далее, письменное описание подсказывает различные альтернативы действий, а также оценки последствий этих альтернатив. Изложение ситуации в письменном виде во многом снимает эмоциональную составляющую при принятии решения, а также дает исходные данные и варианты действий для аналитического разбора.

Иногда рекомендуют проводить *первичную формализацию описания ситуации*, например в виде ответов на вопросы типа:

0. Совместим ли рассматриваемый вариант решения с моими нравственными принципами?
1. Что я выиграю при этом варианте решения?
 - а) деньги;
 - б) время;
 - в) известность;
 - г) уверенность;
 - д) удовольствие и т.д.
2. Что я потеряю при таком решении?
 - а) деньги;
 - б) время и т.д. (см. вопрос 1).
3. Какие новые возможности у меня появятся?
4. Какие новые задачи встанут передо мной?
5. Какие обязанности у меня появятся?
6. Какая новая ситуация для меня возникнет?
7. Каких побочных действий я должен ожидать?
 - а) положительных,
 - б) отрицательных.
8. Принесу ли я вред обществу или другим людям?

9. Принесу ли я пользу обществу или другим людям?
10. Возникнут ли в результате моего решения новые проблемы?
11. Потребуется ли новые решения? И т.д.

Можно выделить этапы анализа ситуации, подготовки и принятия решения, анализа последствий [48].

1. Уяснить ситуацию.
2. Установить наличие проблемы, подлежащей решению.
3. Сформировать возможные решения.
4. Описать последствия решений.
5. Выбрать решение.
6. Обобщить накопленный опыт принятия решений.

Целесообразно уточнить содержание каждого из перечисленных этапов. Например, для уяснения ситуации целесообразно ответить на пять вопросов.

1. КТО должен или обязан (или хочет) принять решение?
2. ГДЕ (в каком месте, в каком окружении, в какой среде, при каких обстоятельствах) предстоит принимать решение?
3. КОГДА (до какого срока, или насколько часто, или с какой периодичностью) необходимо принимать решение?
4. КАК (каким образом, в какой форме, каким документом) должно быть выражено решение?
5. ЧТО обуславливает решение? Зачем оно нужно? В чем его цель? Какой замысел лежит в его основе? Для чего оно служит? Зачем его надо принимать?

После того как ситуация обдумана, с помощью квалифицированных экспертов получены ответы на поставленные вопросы, необходимо рассмотреть варианты решений. Рассмотрим пример.

Пример 5.3. На столе у секретаря начальника звонит телефон. Звонящий задает вопрос по делам фирмы, но такой, на который не может ответить ни секретарь, ни ее начальник. Как должна реагировать секретарь? И какой следует ожидать реакции у звонящего?

Реакция секретаря № 1. Она объясняет звонящему, что не может сообщить необходимые сведения, и соединяет его с нужным сотрудником.

Реакция звонящего № 1. Он будет признателен секретарю за то, что его быстро соединили с человеком, который может его компетентно и с достаточной полнотой проинформировать.

Реакция секретаря № 2. Она просит звонящего подождать у аппарата и бежит через все здание, чтобы получить нужную ему информацию.

Реакция звонящего № 2. Он будет раздражен, поскольку будет вынужден бессмысленно прождать длительное время у телефона, чтобы в конце концов узнать, что информации, которую ему здесь сообщили, недостаточно.

Побочный результат. В течение длительного времени телефон руководства фирмы будет занят.

Реакция секретаря № 3. Она адресует звонящего к начальнику, который, естественно, также не сможет ему помочь.

Реакция звонящего № 3. Он будет раздражен, поскольку будет вынужден провести телефонные разговоры с двумя сотрудниками фирмы, но не получит нужной ему информации.

Побочный результат — тот же, что и в предыдущем случае.

Реакция секретаря № 4. Она возвращает звонящего к коммутатору фирмы, так как не может быть ему полезной.

Реакция звонящего № 4. Он и на этот раз будет раздражен, так как только потерял время.

Очевидно, только первый вариант решения можно признать правильным. Отметим, однако, что для его реализации в распоряжении секретаря должны быть соответствующие технические средства, позволяющие перевести телефонный вызов на номер нужного сотрудника.

В рассмотренном примере сравнение вариантов решения нетрудно провести непосредственно. Однако в большинстве задач принятия решений целесообразно с помощью экспертов выделить перечень факторов, на основе значений которых и целесообразно сравнивать варианты решений.

Пример 5.4. Петя Иванов оканчивает МГТУ им. Н.Э. Баумана и выбирает место работы. У него есть четыре варианта. Приведем их экспертную оценку.

А. Поступить в аспирантуру МГТУ им. Н.Э. Баумана. Стипендия ничтожна, но есть возможности для подработки. Лет через 5 можно стать доцентом всемирно известного вуза, работать по совместительству преподавателем, консультантом, сотрудником той или иной фирмы.

Б. Пойти инженером на крупное предприятие, ранее входившее в военно-промышленный комплекс (ВПК), а ныне имеющее постоянный пакет заказов, в том числе зарубежных.

В. Стать сотрудником малого предприятия, выполняющего конкретные заказы, и получать оплату с каждого выполненного заказа.

Г. Пойти компьютерщиком в филиал зарубежной экспортно-импортной фирмы.

Как сравнивать эти варианты? Рассмотрим естественные факторы и их экспертную оценку для четырех возможных мест работы.

Оплата труда. На настоящий момент — нарастает от *А* до *Г*.

Перспективы роста (в том числе оплаты). Наиболее велики в *А*, имеются в *Б*, практически отсутствуют в *В* и *Г*.

Устойчивость рабочего места. Наибольшая в *А*, значительная в *Б*, малая в *В* и *Г*.

Начальство. Знакомое и уважаемое в *А*, солидное и хмурое в *Б*, несерьезное, но активное в *В*, строгое и малопонятное в *Г*.

Коллектив. Знакомый и приемлемый в *А*, понятный и благожелательный в *Б*, конкурентный (борьба за заказы и тем самым за доходы) в *В*, пропитанный стукачеством в *Г*.

Криминальность. Отсутствует в *А* и *Б*, постоянна (хотя и сравнительно мелкая) в *В*, возможна в *Г* (причем в крупных размерах).

Режим. Весьма свободный в *А*, жесткий (вход и выход по пропускам в заданное время) в *Б*, «полосатый» в *В* (вообще-то свободный, но если начальство прикажет...), тюремного типа в *Г* (фиксированы двери, через которые можно проходить, за питье чая на рабочем месте — штраф в размере 10% месячной оплаты, и т.п.)

Время на дорогу до места работы. Ближе всего *В*, затем *Г*, *А* и *Б*.

Ограничимся этими восемью факторами. Для принятия решения целесообразно составить таблицу, в которой строки соответствуют факторам, столбцы — возможным вариантам решения, а в клетках таблицы стоят оценки факторов для соответствующих вариантов таблицы. Пусть для определенности в качестве возможных оценок используются числа 1, 2, 3,..., 9, 10, причем наихудшее значение — это 1, а наилучшее — это 10. Пусть экспертное мнение Пети Иванова (или результат проведенного им экспертного исследования) выражено в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Оценки факторов при выборе места работы

| п/п | Фактор | МГТУ им. Н.Э. Баумана | Крупное предприятие | Малое предприятие | Зарубежная фирма |
|-----|-------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| 1 | Оплата труда | 1 | 5 | 10 | 9 |
| 2 | Перспективы роста | 10 | 7 | 1 | 2 |
| 3 | Устойчивость | 10 | 9 | 3 | 4 |
| 4 | Начальство | 8 | 6 | 4 | 2 |
| 5 | Коллектив | 9 | 7 | 2 | 1 |
| 6 | Криминал | 10 | 8 | 1 | 2 |
| 7 | Режим | 10 | 4 | 7 | 1 |
| 8 | Время на дорогу | 5 | 3 | 10 | 7 |
| 9 | Сумма баллов | 63 | 49 | 37 | 28 |

Непосредственный анализ данных табл. 5.4 не позволяет Пете Иванову сделать однозначный вывод. По одним показателям лучше

один вариант, по другим — другой. Надо как-то соизмерить факторы. Проще всего приписать им веса, а затем сложить веса для каждого из вариантов (такой подход имеет недостатки, которые обсуждаются ниже). А какие веса взять? Проще всего считать все факторы равноценными, то есть взять их с одинаковыми весами — единичными. Тогда следует сложить баллы, приписанные факторам. Результаты приведены в последней строке. По сумме баллов на первом месте — МГТУ им. Н.Э. Баумана, на втором — крупное предприятие, на третьем — малое предприятие, на последнем — филиал зарубежной фирмы.

Аналогичным образом проводится технико-экономический анализ во многих реальных ситуациях.

Пример 5.5. В таблице 5.5 дается сравнительная характеристика по факторам конкурентоспособности главных производителей изделий из стекловаты. Помимо непосредственного сравнения производителей подобная таблица дает возможность подготовить решения по мерам повышения конкурентоспособности, а также указать возможные пределы продвижения. Так, согласно данным табл. 5.5, ОАО «Мостермостекло» по конкурентоспособности находится на уровне одного из своих основных конкурентов и проигрывает второму 4 балла. Однако, повысив удобство монтажа на 1 балл (и дойдя до уровня худшего из своих конкурентов по этому фактору), перейдя к более привлекательной системе скидок (набрав при этом 2 балла), а также усилив рекламные мероприятия на 2 балла (и дойдя до уровня худшего из своих конкурентов по этому фактору), оно увеличит сумму баллов на 5 и станет лучшим.

Таблица 5.5

Сравнительная характеристика
главных производителей изделий из стекловаты
по факторам конкурентоспособности, баллы

| № п/п | Фактор конкурентоспособности | ОАО «Мостермо- стекло» | Главные конкуренты | |
|-------|---------------------------------|---------------------------|--------------------|--------|
| | | | URSA | ISOVER |
| 1 | Товар | | | |
| 1.1 | Качество | 5 | 5 | 5 |
| 1.2 | ТЭП* | 5 | 4 | 4 |
| 1.3 | Престиж торговой марки | 3 | 4 | 5 |
| 1.4 | Кашировка** | 5 | 5 | 5 |
| 1.5 | Удобство монтажа | 3 | 4 | 5 |
| 1.6 | Наличие сертификатов | 5 | 5 | 5 |
| 2 | Цена | | | |
| 2.1 | Продажная | 5 | 3 | 2 |

Окончание

| № п/п | Фактор конкурентоспособности | ОАО «Мостермо-стекло» | Главные конкуренты | |
|-------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------|
| | | | URSA | ISOVER |
| 2.2 | Скидки с цены | 2 | 4 | 0 |
| 3 | Продвижение товаров на рынках | | | |
| 3.1 | Реклама, участие в выставках и т.д. | 2 | 5 | 4 |
| | Общее количество баллов | 35 | 39 | 35 |

* ТЭП — технико-экономическое планирование

** Кашировка — дополнительное покрытие

Ясно, что такая характеристика объекта экспертизы, как общее число баллов, обладает очевидным недостатком — все факторы считаются равноценными, входят в итоговый (обобщенный) показатель на равных правах, с одинаковым весом.

5.2. ВЕСА ФАКТОРОВ

В практике разработки управленческих решений приходится иногда вводить веса факторов.

Пример 5.6. При подготовке организационно-экономического обеспечения реализации проекта установки газоочистного оборудования на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» сравнивались четыре проекта (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Балльная оценка проектов

| № п/п | Приведенные показатели качества проектов | Проекты газоочистки | | | | Веса показателей |
|-------|---|---------------------|----------|---------|--------|------------------|
| | | Россия-1 | Россия-2 | Украина | Швеция | |
| 1 | Наработка на отказ | 0,9125 | 0,975 | 0,9 | 1 | 7 |
| 2. | Назначенный срок службы до списания | 0,72 | 1 | 0,8 | 1 | 6 |
| 3. | Назначенный срок службы до капитального ремонта | 0,9 | 1 | 0,8 | 1 | 6 |
| 4. | Среднее время восстановления | 0,897 | 0,959 | 0,886 | 1 | 5 |
| 5. | Установленный срок сохраняемости | 1 | 1 | 0,667 | 0,667 | 4 |

Окончание

| № п/п | Приведенные показатели качества проектов | Проекты газоочистки | | | | Веса показателей |
|---|--|---------------------|----------|---------|--------|------------------|
| | | Россия-1 | Россия-2 | Украина | Швеция | |
| 6. | Энергетические затраты на очистку 1000 м ³ газа | 0,852 | 0,958 | 0,852 | 1 | 9 |
| 7. | Масса оборудования | 0,886 | 0,972 | 0,875 | 1 | 8 |
| 8. | Степень очистки | 1 | 1 | 0,999 | 1 | 10 |
| 9. | Полная стоимость проекта | 0,877 | 1 | 0,860 | 0,662 | 9 |
| 10. | Срок исполнения | 0,8 | 1 | 0,667 | 1 | 7 |
| Интегральный итоговый показатель качества проекта | | 56,46 | 63,20 | 53,76 | 59,62 | |

Проекты оценивались по «интегральному итоговому показателю качества проекта», равному сумме (по всем факторам) произведений значения фактора на вес этого фактора. Для таблиц 5.4 и 5.5 все веса были единичными, для табл. 5.6 веса приведены в правом столбце. (Значения весов обычно определяют с помощью экспертов.) В соответствии с «интегральным итоговым показателем качества проекта» наилучшим является проект «Россия-2», далее следует проект «Швеция», затем — проект «Россия-1», и замыкает четверку проект «Украина». В соответствии с рассматриваемым подходом надо рекомендовать принять к исполнению проект «Россия-2».

Много ценных рекомендаций по разработке управленческих решений содержится в книгах проф. Б.Г. Литвака [34, 37].

Декомпозиция задач принятия решения. Естественным является желание разбить сложную задачу принятия решения на несколько, чтобы воспользоваться возможностью решать их по очереди.

Пример 5.7. Простейшим вариантом является дихотомическая схема для наглядного представления возможных решений [48]. Например, необходимо решить задачу: «Как встречать Новый год?». По мнению экспертов, на первом шаге надо выбрать одно из двух возможных решений:

- 1) остаться дома;
- 2) уехать.

В каждом из двух случаев возникает необходимость принять решение второго уровня. Так, в первом случае:

- 1.1) пригласить гостей;
- 1.2) не звать гостей.

Во втором случае:

- 2.1) уехать к родственникам или знакомым;
- 2.2) уехать в общедоступные места (отправиться в путешествие, пойти в клуб или ресторан и т.п.).

После двух шагов получили четыре возможных решения. Каждое из них, вообще говоря, предполагает дальнейшее деление. Так, например, вариант «пригласить гостей» приводит к дальнейшему обсуждению их списка. При этом могут сопоставляться различные варианты. Например, что предпочесть — гастрономические утехи за телевизором в хорошо знакомой компании или бурное обсуждение злободневных проблем или нравов далеких стран с интересными людьми, с которыми давно не встречались? Вариант «остаться дома и не звать гостей» также имеет свои варианты. Можно проводить новогоднюю ночь в семейном кругу, и одна из решаемых при этом задач, — какую программу телевидения смотреть. А можно лечь спать вскоре после полуночи, например в случае болезни или после долгой тяжелой работы.

Вариант «уехать к родственникам или знакомым» также требует дальнейших решений. Поездка связана с поддержанием родственных отношений или с желанием получить удовольствие? Какую пищу вы предпочитаете — физическую или духовную (гастрономические утехи или интересную беседу)?

Оставшийся четвертый вариант «уехать в общедоступные места» предполагает еще больше возможностей выбора. Можно остаться в своем городе, отправиться в другой город (например, из Москвы в Смоленск), выехать на природу (на горнолыжную базу, на курорт), пересечь границу. А тут возможностей масса — все страны, все континенты, можно покататься на слоне в Таиланде, искупаться в Атлантическом океане или побродить по Парижу. Итак, рядовая задача принятия решения «Как встречать Новый год?» при проработке превращается в выбор из невообразимого количества вариантов. При этом нет необходимости доходить до перечня конкретных вариантов (выехать 28 декабря таким-то поездом туда-то), поскольку решения, очевидно, принимаются последовательно, и решение «остаться дома» делает ненужным рассмотрение всех туристических маршрутов.

Что дает нам декомпозиция решений? Пример 5.7 демонстрирует, как несколько принятых друг за другом решений позволяют справиться с многообразием вариантов. При принятии решений может использоваться весь арсенал теории принятия решений, такие понятия, как цели, критерии, ресурсы, риски и др., однако довольно часто решения принимаются на интуитивном уровне, без введения в обсуждение перечисленных понятий.

Дерево решений. Довольно часто удобно представить варианты графически. Обычно возможные решения представляют в виде одного из видов графов — дерева (рис. 5.1). Строго говоря, это перевернутое дерево. Корнем является исходная задача — «Как встречать Новый год?». От него идут две ветви — к вариантам «Остаться дома» и «Уехать». От этих вариантов, в свою очередь являющихся задачами принятия решений («Что делать, оставшись дома?» и «Куда уехать?»), ветки ведут к вариантам задач принятия решений следующего порядка (рис. 5.1).

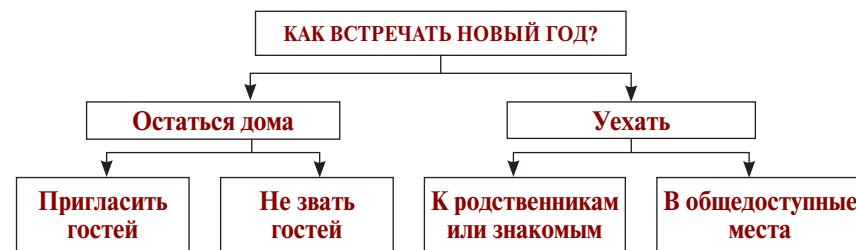


Рис. 5.1. Дерево решений — дихотомическая схема для наглядного представления возможных решений

Пример 5.8. Приведем начало (корень) «Дерева решений проекта», использованного в практической работе.

Задача предприятия — производить качественные изделия из стеклоблоков, так как растет потребность в утеплителях и расширяется рынок. Необходимо сделать выбор из двух вариантов:

- 1) работать на существующем оборудовании;
- 2) провести реконструкцию цеха.

Этот перечень дают эксперты. Обратите внимание, что вариант «ликвидировать предприятие» эксперты считают неприемлемым.

При выборе *первого варианта* следует иметь в виду, что мощности оборудования не столь большие, чтобы обеспечить возросшую потребность (из-за физического износа линии), а качество производимой продукции не соответствует международным требованиям (то есть необходимо учитывать моральный износ линии). Поэтому следует ожидать, что даже в условиях предполагаемого повышенного спроса выпущенные на существующем оборудовании материалы не будут полностью востребованы (реализация будет падать), соответственно мощность производства не будет расти.

При выборе *второго варианта* решения после реконструкции производительность увеличивается в 2 раза по сравнению с существующей технологической линией, качество выпускаемой предприятием продукции будет соответствовать международным требованиям, она сможет конкурировать с главными производителями стеклобатов. Повысятся основные технико-экономические показатели. Однако существует определенный риск проекта, поскольку необходимы большие капитальные вложения (большая часть которых — из заемных источников).

Дальнейшее построение дерева решений здесь достаточно очевидно. От варианта «Работать на существующем оборудовании» пойдут линии к решениям, связанным с упрощением ассортимента выпускаемой продукции, поиском ниши рынка, готовой принимать продукцию более низкого качества, и т.д. Это — курс на выживание в условиях отставания от научно-технического прогресса, вплоть до ликвидации предприятия. В некоторых

экономических условиях ликвидация предприятия — это оптимальный выход, хотя эксперты от него оказались на начальном этапе анализа.

От варианта «Провести реконструкцию цеха» пойдут линии двух типов — сначала «технологические», а затем «финансовые». Сначала надо выбрать конкретный вариант реконструкции и подготовить бизнес-план соответствующего инвестиционного проекта. Затем необходимо обеспечить финансовые поступления для выполнения этого инвестиционного проекта, обеспечив минимальный риск для предприятия. Здесь проблема — выбор кредиторов и заемщиков, заключение с ними договоров на приемлемых условиях.

Кроме последовательного принятия решений декомпозиция задач принятия решений используется для «разделения проблем на части». При этом результатом декомпозиции является не выбор одного из большого числа вариантов, как при последовательном принятии решений, а представление решаемой задачи в виде совокупности более мелких задач, в пределе — таких задач, методы решения которых известны.

Пример 5.9. Рассмотрим проблему борьбы с транспортным шумом [48]. Целесообразно выделить мероприятия:

- 1) связанные с источником шума;
- 2) на месте проявления шума;
- 3) на пути распространения шума;
- 4) относящиеся ко всей системе транспортных средств;
- 5) связанные с реконструкцией транспортной системы и разработкой способов ее технико-экономической оценки.

В отличие от примера 5.7, здесь не идет речь о том, чтобы выбрать один из вариантов решения. Наоборот, для эффективной борьбы с транспортным шумом необходимо использовать все ветви, все пять типов мероприятий.

Источник шума — это автомашина. Поэтому сразу выделяются три направления воздействия на ситуацию:

- 1.1) конструкция автомашины (включая регулировку ее узлов);
- 1.2) топливо;
- 1.3) дорога.

Непосредственная защита от шума может быть индивидуальная — шлемы, наушники, вставки в уши — беруши (сокращение от «берегите уши»). А может быть и коллективная (звуконепроницаемые оконные рамы, стены со звукоизоляцией). Поэтому мероприятия на месте проявления шума естественным образом делятся на два класса:

- 2.1) индивидуальная защита от шума;
- 2.2) подавление шума в зданиях.

Можно ослабить шум «по дороге». Хорошо известны различные способы для этого:

- 3.1) сооружение звукозащитных стен и экранов, отражающих звуковые волны в безопасных направлениях;
- 3.2) создание звукозащитных полос из деревьев и кустарников;
- 3.3.) противозумное расположение зданий на местности (как по расстоянию от источника шума, так и по ориентации зданий относительно него и друг друга).

Снижение шума возможно также с помощью различных мероприятий, относящихся ко всей системе транспортных средств. Речь идет о рациональной организации движения в рамках действующей транспортной системы. Эта рациональная организация осуществляется региональными властями административными и частично организационно-экономическими методами. Примеры подобных мероприятий:

- 4.1) направление транзитного транспорта в объезд крупных городов;
- 4.2) ограничение движения транспорта в определенные часы или по определенным улицам;
- 4.3) планирование движения транспорта — по времени, по скорости, по маршрутам.

Наконец, необходимо обсудить мероприятия, нацеленные на будущее. Они связаны с реконструкцией транспортных систем и разработкой способов ее технико-экономической оценки. Каков должен быть транспорт будущего? Ясно, что в нем должны быть предусмотренны меры, направленные на снижение шумовой нагрузки. Технико-экономическая оценка транспортных систем будущего должна определяться с учетом шумовой нагрузки. Выразим это как

- 5.1) шумоподавление в проектируемых и реконструируемых транспортных системах.

Таким образом, одна исходная задача породила 12 новых. Надо не выбирать одну из них, а решать все 12. Однако каждая из 12 является более конкретной, чем исходная. Ее легче решить (после дальнейшей декомпозиции), чем исходную.

Декомпозиция задач принятия решений «от ветвей к корню». До сих пор мы разбирали ситуации, когда задача принятия решения разбивалась на составляющие (с целью уточнения постановки и выбора одной из конкретных формулировок либо с целью разделить одну большую задачу на ряд более мелких). Рассмотрим теперь противоположный процесс, когда конкретные потребности бизнес-процессов организации порождают единый комплекс задач принятия решений.

Пример 5.10. Рассмотрим процесс декомпозиции задач принятия решений «от ветвей к корню» на примере формирования задач службы контроллинга организации. Для многих организаций актуальны следующие проблемы.

1. Отсутствие оперативной информации о производственных процессах требует внедрения на предприятии системы производственного учета.
2. Высокий уровень накладных расходов в общей сумме затрат заставляет заниматься выявлением мест возникновения «ненужных» затрат.
3. Излишне большая величина незавершенного производства влечет необходимость разработки системы управления заказами.
4. Отсутствует эффективный механизм контроля над деятельностью службы закупок. Имеется лишь эпизодический контроль со стороны руководства организации. Это обуславливает необходимость разработки организационно-экономического механизма, позволяющего контролировать уровень цен на закупаемые материалы.
5. Накладные расходы планируются на предприятии по факту предыдущего периода. Это требует внедрения процесса бюджетирования.
6. Используемая система показателей недостаточна для управления предприятием. Следовательно, необходима разработка системы показателей финансово-хозяйственной, производственной и социальной деятельности предприятия.
7. У руководства предприятия отсутствует системное представление о деятельности предприятия. Для принятия обоснованных решений по управлению предприятием необходимо создание аналитической службы поддержки принятия таких решений.

Для решения семи перечисленных актуальных проблем принятия решений при управлении предприятием вытекает необходимость специальной интегрирующей службы — службы контроллинга. В результате экспертного анализа становится вполне очевидно, что все «ветви» в рассматриваемой задаче декомпозиции направлены к одному «корню», и этот «корень» описывает задачи принятия решений, поддерживаемые службой контроллинга [23, 130].

До сих пор в процессе декомпозиции все задачи одного уровня считались равнозначными, весовые коэффициенты не вводились. Однако иногда оказывается полезным различать варианты рассматривать с теми или иными коэффициентами.

Пример 5.11. Необходимо разработать процедуру принятия решений, связанных с оценкой эффективности разрабатываемого медицинского прибора (магнитного сепаратора). С точки зрения экспертов, для вычисления обобщенного показателя качества и технического уровня подобных приборов естественно провести декомпозицию на три задачи принятия решений, соответственно трем группам показателей:

- 1) основные показатели назначения;
- 2) экономические условия потребления;
- 3) условия обслуживания.

Пусть X — оценка по первой группе показателей, Y — по второй, Z — по третьей. Первая оценка учитывается с весовым коэффициентом 0,6, вторая — 0,2, третья — также 0,2 (сумма трех весовых коэффициентов равна 1). Таким образом, обобщенный показатель качества и технического уровня медицинского прибора оценивается как

$$W = 0,6X + 0,2Y + 0,2Z.$$

На следующем шаге декомпозиции в каждой из трех групп выделяются единичные показатели качества и технического уровня. Так, для блока «основных показателей назначения» выделяют:

- 1.1) степень очистки $X(1)$;
- 1.2) время очистки $X(2)$;
- 1.3) масса субстрата $X(3)$;
- 1.4) вероятность повреждения здоровых клеток $X(4)$.

Им также приписывают весовые коэффициенты 0,44, 0,09, 0,18, 0,29 соответственно (сумма весовых коэффициентов равна 1). Поэтому оценка по основным показателям назначения вычисляется как

$$X = 0,44 X(1) + 0,09 X(2) + 0,18 X(3) + 0,29 X(4).$$

Для блока «экономические условия потребления» выделяют два единичных показателя:

- 2.1) методы сепарации $Y(1)$
- 2.2) патентная чистота $Y(2)$.

Им также приписывают весовые коэффициенты 0,74 и 0,26 соответственно (сумма весовых коэффициентов равна 1). Поэтому оценка по экономическим условиям потребления вычисляется как

$$Y = 0,74Y(1) + 0,26Y(2).$$

Для блока «условия обслуживания» выделяют три единичных показателя:

- 3.1) режим работы $Z(1)$,
- 3.2) эргономика $Z(2)$,
- 3.3) надежность $Z(3)$.

Им также приписывают весовые коэффициенты 0,55, 0,14 и 0,31 соответственно (сумма весовых коэффициентов равна 1). Поэтому оценка по блоку «условия обслуживания» вычисляется как

$$Z = 0,55Z(1) + 0,14Z(2) + 0,31Z(3).$$

Таким образом, описан алгоритм декомпозиции в задаче принятия решения относительно оценки эффективности медицинского прибора. Для вычисления обобщенного показателя качества и технического уровня необходимо получить оценки девяти единичных показателей.

Обычно это делают с привлечением экспертов, сопоставляющих разрабатываемый прибор с отечественными и зарубежными аналогами. Применение подобных показателей уже продемонстрировано выше на примерах сумм баллов и взвешенных сумм баллов. Однако только здесь показано, как могут обоснованно строиться системы факторов на основе идеи декомпозиции. В соответствии с этой идеей по единичным показателям строятся групповые показатели, а затем по групповым — итоговый обобщенный показатель. Используются три уровня иерархии — уровень единичных показателей, уровень групповых показателей и верхний уровень, на котором находится обобщенный показатель. Может применяться и большее число уровней.

Для нахождения весовых коэффициентов обычно используют оценки экспертов. При этом для каждой группы показателей, а также при присвоении весов группам на верхнем уровне декомпозиции могут применяться свои экспертные процедуры и опрашиваться свои эксперты. Это важное преимущество рассматриваемой процедуры обеспечивается тем, что сумма весовых коэффициентов каждый раз равняется 1.

Дело в том, что из приведенных выше соотношений следует, что для вычисления обобщенного показателя качества и технического уровня можно использовать непосредственно оценки единичных показателей:

$$W = 0,6X + 0,2Y + 0,2Z = 0,6 (0,44 X(1) + 0,09 X(2) + 0,18 X(3) + 0,29 X(4)) + 0,2 (0,74Y(1) + 0,26Y(2)) + 0,2 (0,55Z(1) + 0,14Z(2) + 0,31Z(3)) = 0,264 X(1) + 0,054X(2) + 0,108 X(3) + 0,174X(4) + 0,148Y(1) + 0,052Y(2) + 0,11Z(1) + 0,028Z(2) + 0,062Z(3).$$

Сумма итоговых девяти весовых коэффициентов, естественно, равна 1, поскольку так построена схема декомпозиции.

С первого взгляда может показаться рациональной оценка этих девяти коэффициентов непосредственно (с помощью экспертов). Ряд специалистов критикует такое предложение [93], поскольку экспертам крайне трудно обоснованно разбить 1 на 9 слагаемых, а вот на 3 слагаемых, соответствующих группам, а внутри каждой — на 2 — 4 слагаемых — гораздо легче. Из сказанного выше ясно, что пошаговый метод декомпозиции дает возможность более точно сопоставить весовые коэффициенты (отдельно внутри групп, отдельно группы между собой), чем это можно сделать при объединении всех единичных показателей вместе.

Рассмотренные выше способы усреднения значений единичных показателей — это фактически применение средних взвешенных

арифметических для значений единичных показателей. Целесообразно обратить внимание на возможность применения иных видов средних величин — средних взвешенных геометрических, средних взвешенных степенных, взвешенных медиан и др. [92, приложение 3]. А также на подходы и результаты теории измерений, позволяющие выбирать наиболее адекватные виды средних величин в соответствии с используемыми шкалами измерения (см. главу 4).

В теории и практике экспертных оценок накоплено большое число различных экспертных технологий подготовки и принятия решений, как относительно простых, так и основанных на изощренной математической технике. В [77, 88] подробно рассмотрены подходы к принятию решений, основанные на оптимизационных, вероятностно-статистических и экспертных методах, а также метод моделирования и различные виды моделей, используемых в теории и практике принятия решений.

Наши рассуждения указывают на большую роль экспертных оценок при построении и использовании рейтингов. Для полноты изложения укажем, что иногда роль субъективных мнений экспертов достаточно мала и проявляется только при построении рейтинга.

Пример 5.12. Согласно официальной методике рейтинговой оценки отраслей промышленности Самарской области (<http://raso.samara.ru/rating/prom/metodika>) рейтинг предприятий формируется по следующим 9 показателям:

- 1) рост выручки от реализации в рассматриваемом году по сравнению с предыдущим годом, в %;
- 2) производительность труда; — в рублях на одного занятого;
- 3) рентабельность активов по чистой прибыли, в %;
- 4) затраты на рубль продукции, — в рублях;
- 5) коэффициент текущей ликвидности (в среднем за год);
- 6) коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными средствами;
- 7) степень платежеспособности по текущим обязательствам;
- 8) коэффициент общей оборачиваемости активов;
- 9) изменение величины чистых активов за рассматриваемый год, в %.

Предприятия группируются по отраслям промышленности (электроэнергетика; нефтедобыча, нефтепереработка, химия и нефтехимия; машиностроение; промышленность строительных материалов; легкая, мебельная и деревообрабатывающая; пищевая).

Рейтинговая оценка предприятий Самарской области строится на основе рейтинговой шкалы, построенной для среднероссийских условий. Ряд значений каждого из 9 показателей по совокупности предприятий разбивается на квартильные группы по степени успеш-

ности: 25% самых лучших — группа *A*, следующие — *B*, *C* и *D*. Таким образом, финансово-хозяйственная успешность предприятия характеризуется набором из 9 букв (по числу показателей). Рейтинговая оценка условного предприятия по 9 показателям может выглядеть следующим образом: *AABCBAAB*. Интегральная рейтинговая оценка строится как средняя из оценок по каждому показателю. При этом для расчета средней величины каждой букве придается численное значение: $A = 4$, $B = 3$, $C = 2$, $D = 1$; соответственно рейтинговая оценка может варьировать от 1 (минимальное значение) до 4 (максимальное значение).

При разработке этой методики на основе мнений экспертов был выбран метод кодирования значения показателя — установлено число градаций (4, а не 2 или 7) и заданы границы областей. От шкал отношений произведен переход к порядковым, ибо рейтинговая оценка вида *AABCBAAB* является результатом измерения по 9 порядковым шкалам. Затем на основе мнений экспертов происходит оцифровка по выбранному ими правилу: $A = 4$, $B = 3$, $C = 2$, $D = 1$. Из теории измерений (глава 3) следует, что такой способ сравнения (рейтингования) предприятий является некорректным. Проблемы практического использования подобного рода методик рассмотрены в главе 4.

5.3. БИНАРНЫЕ РЕЙТИНГИ

Перейдем от примеров и простых методов к математической теории рейтингов. Существенная часть этой теории, посвященная построению обобщенных показателей на основе единичных и групповых, измеренных в тех или иных шкалах, содержится в главах 3 и 4.

Определение бинарного рейтинга. В настоящем разделе обсудим наиболее простой случай, когда рейтинговая оценка принимает два значения, для простоты изложения, 0 и 1. Такие рейтинги будем называть бинарными. Например, потенциальный клиент банка может быть кредитоспособным или нет, сам банк — надежным или нет, больной — тяжелым или нет. Для выбора одного из двух возможных решений достаточно, чтобы рейтинговая оценка принимала два значения.

Иногда проводят избыточную работу, строя рейтинг с большим числом значений, например в виде функции $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ от единичных показателей (факторов) x_1, x_2, \dots, x_m . В таких случаях для принятия решения используют некоторое граничное значение K , принимают одно решение, если

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) < K,$$

и альтернативное, если

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) > K.$$

Можно сказать, что в этом случае для принятия решения используется бинарный рейтинг вида $g(f(x_1, x_2, \dots, x_m))$, где функция g принимает два значения, а именно, $g(z) = 0$ при $z < K$ и $g(z) = 1$ при $z > K$.

На основе бинарных рейтингов можно сконструировать рейтинг с большим числом градаций. Пусть рейтинговая оценка h принимает одно из трех значений $A < B < C$. С ней можно связать два бинарных рейтинга p и q , таких, что для первого из них $p = 0$ при $h < C$ и $p = 1$ при $h = C$, для второго $q = 0$ при $h < B$ и $q = 1$ при $h \geq B$. Ясно, что $h = A$ тогда и только тогда, когда $p = q = 0$, и $h = C$ тогда и только тогда, когда $p = q = 1$, в то время как $h = B$ тогда и только тогда, когда $p = 0$, $q = 1$. Таким образом, использование рейтинга h с тремя возможными значениями эквивалентно использованию двух бинарных рейтингов p и q .

Бинарные рейтинги и дискриминантный анализ. Объект оценки с помощью бинарного рейтинга относится к одному из двух классов. Следовательно, теория бинарных рейтингов — часть теории классификации.

Математическая теория классификации — обширная область прикладной статистики и эконометрики [76, 92]. Какие научные исследования относить к этой теории? Исходя из потребностей специалиста, применяющего математические методы классификации, целесообразно принять, что сюда входят исследования, во-первых, отнесенные самими авторами к этой теории; во-вторых, связанные с ней общностью тематики, хотя бы их авторы и не упоминали термин «классификация». Это предполагает ее сложную внутреннюю структуру.

В литературных источниках наряду с термином «классификация» в близких смыслах используются термины «группировка», «распознавание образов», «диагностика», «дискриминация», «сортировка» и др. Терминологический разнобой связан прежде всего с традициями научных кланов, к которым относятся авторы публикаций, а также с внутренним делением самой теории классификации.

В научных исследованиях по современной теории классификации можно выделить два относительно самостоятельных направления. Одно из них опирается на опыт таких наук, как биология, география, геология, и таких прикладных областей, как ведение классификаторов продукции и библиотечное дело. Типичные объекты рассмотрения — классификация химических элементов (таблица Д.И. Менделеева), биологическая систематика, универсальная десятичная классификация (УДК) публикаций, классификатор товаров на основе штрихкодов.

Другое направление опирается на опыт технических исследований, экономики, маркетинговых исследований, социологии, медицины. Типичные задачи — техническая и медицинская диагностика, в том числе построение бинарных рейтингов, а также, например, разбиение на группы отраслей промышленности, тесно связанных между собой, выделение групп однородной продукции. Обычно используются такие термины, как «распознавание образов» или «дискриминантный анализ». Это направление обычно опирается на математические модели; для проведения расчетов интенсивно используется ЭВМ. Однако относить его к математике столь же нецелесообразно, как астрономию или квантовую механику. Рассматриваемые математические модели можно и нужно изучать на формальном уровне, и такие исследования проводятся. Но направление в целом сконцентрировано на решении конкретных задач прикладных областей и вносит вклад в технические или экономические науки, медицину, социологию, но, как правило, не в математику. Использование математических методов как инструмента исследования нельзя относить к чистой математике.

В 60-х годах XX в. внутри прикладной статистики достаточно четко оформилась область, посвященная методам классификации. Несколько модифицируя формулировки М. Дж. Кендалла и А. Стьюарта 1966 г. (см. русский перевод [25, с. 437]), в теории классификации выделим три подобласти: дискриминация (дискриминантный анализ), кластеризация (кластер-анализ), группировка. Опишем эти подобласти.

В дискриминантном анализе классы предполагаются заданными — плотностями вероятностей или обучающими выборками. Задача состоит в том, чтобы вновь поступающий объект отнести в один из этих классов. У понятия «дискриминация» имеется много синонимов: диагностика, распознавание образов с учителем, автоматическая классификация с учителем, статистическая классификация и т.д.

При кластеризации и группировке целью является выявление и выделение классов. Синонимы: построение классификации, распознавание образов без учителя, автоматическая классификация без учителя, типология, таксономия и др. Задача кластер-анализа состоит в выяснении по эмпирическим данным, насколько элементы «группируются» или распадаются на изолированные «скопления», «кластеры» (от *cluster* (англ.) — гроздь, скопление). Иными словами, задача — выявление естественного разбиения на классы, свободного от субъективизма исследователя, а цель — выделение групп однородных объектов, сходных между собой, при резком отличии этих групп друг от друга.

При группировке, наоборот, «мы хотим разбить элементы на группы независимо от того, естественны ли границы разбиения или

нет» [25, с. 437]. Цель по-прежнему состоит в выявлении групп однородных объектов, сходных между собой (как в кластер-анализе), однако «соседние» группы могут не иметь резких различий (в отличие от кластер-анализа). Границы между группами условны, не являются естественными, зависят от субъективизма исследователя. Аналогично при лесоустройстве проведение просек (границ участков) зависит от специалистов лесного ведомства, а не от свойств леса. Поскольку бинарная рейтинговая оценка принимает только два значения, то может случиться так, что близкие по своим параметрам (то есть похожие) объекты будут иметь разные рейтинги — если две группы, соответствующие определенному значению рейтинга, не имеют резких различий.

Задачи кластеризации и группировки принципиально различны, хотя для их решения могут применяться одни и те же алгоритмы. Важная для практической деятельности проблема состоит в том, чтобы понять, разрешима ли задача кластер-анализа для конкретных данных или возможна только их группировка, поскольку совокупность объектов достаточно однородна и не разбивается на резко разделяющиеся между собой кластеры.

Как правило, в математических задачах кластеризации и группировки основное — выбор метрики, расстояния между объектами, меры близости, сходства, различия. Хорошо известно, что для любого заданного разбиения объектов на группы и любого числа $\varepsilon > 0$ можно указать метрику такую, что расстояния между объектами из одной группы будут меньше ε , а между объектами из разных групп — больше $1/\varepsilon$. Тогда любой разумный алгоритм кластеризации даст именно заданное разбиение.

Понимание и обсуждение постановок задач осложняется использованием одного и того же термина в разных смыслах. Термином «классификация» (и термином «диагностика») обозначают, по крайней мере, три разные вещи: процедуру построения классификации (и выделение классов, используемых при диагностике), построенную классификацию (систему выделенных классов) и процедуру ее использования (правила отнесения вновь поступающего объекта к одному из ранее выделенных классов). Другими словами, имеем естественную триаду: построение — изучение — использование классификации.

Для построения системы диагностических классов используют разнообразные методы кластерного анализа и группировки объектов. Наименее известен второй член триады (отсутствующий у Кендалла и Стьюарта [25]) — изучение отношений эквивалентности, полученных в результате построения системы диагностических классов. Статистический анализ полученных, в частности экспертами, отношений

эквивалентности — часть статистики бинарных отношений и тем самым — статистики объектов нечисловой природы [72, 76, 92].

Диагностика в узком смысле слова (процедура использования классификации, то есть отнесения вновь поступающего объекта к одному из выделенных ранее классов) — предмет дискриминантного анализа. Отметим, что с точки зрения статистики объектов нечисловой природы дискриминантный анализ является частным случаем общей схемы регрессионного анализа, соответствующим ситуации, когда зависимая переменная принимает конечное число значений, а именно — номера классов, а вместо квадрата разности стоит функция потерь от неправильной классификации. Однако есть ряд специфических постановок, выделяющих задачи диагностики среди всех регрессионных задач.

О построении диагностических правил. Задачи построения системы диагностических классов целесообразно разбить на два типа: с четко разделенными кластерами (задачи кластер-анализа) и с условными границами, непрерывно переходящими друг в друга классами (задачи группировки). Такое деление полезно, хотя в обоих случаях могут применяться одинаковые алгоритмы. Сколько же существует алгоритмов построения системы диагностических правил? Иногда называют то или иное число. На самом же деле их бесконечно много, в чем нетрудно убедиться.

Действительно, рассмотрим один определенный алгоритм — алгоритм средней связи. Он основан на использовании некоторой меры близости $d(x, y)$ между объектами x и y . Как он работает? На первом шаге каждый объект рассматривается как отдельный кластер. На каждом следующем шаге объединяются две ближайших кластера. Расстояние между объектами рассчитывается как средняя связь (отсюда и название алгоритма), то есть как среднее арифметическое расстояний между парами объектов, один из которых входит в первый кластер, а другой — во второй. В конце концов все объекты объединяются вместе, и результат работы алгоритма представляет собой дерево последовательных объединений (в терминах теории графов), или «дендрограмму». Из нее можно выделить кластеры разными способами. Один подход — исходя из заданного числа кластеров. Другой — из соображений предметной области. Третий — исходя из устойчивости (если разбиение долго не менялось при возрастании порога объединения — значит, оно отражает реальность). И т.д.

К алгоритму средней связи естественно сразу добавить алгоритм ближайшего соседа. В этом алгоритме расстоянием между кластерами называется минимальное из расстояний между парами объектов, один из которых входит в первый кластер, а другой — во второй. А также

и алгоритм дальнего соседа (когда расстоянием между кластерами называется максимальное из расстояний между парами объектов, один из которых входит в первый кластер, а другой — во второй).

Каждый из трех описанных алгоритмов (средней связи, ближайшего соседа, дальнего соседа), как легко проверить, порождает бесконечное (континуальное) семейство алгоритмов кластер-анализа. Дело в том, что величина $d^a(x, y)$, $a > 0$, также является мерой близости между x и y и порождает новый алгоритм. Если параметр a пробегает отрезок, то получается бесконечно много алгоритмов классификации.

Каким из них пользоваться при обработке данных? Дело осложняется тем, что практически в любом пространстве данных мер близости различных видов существует весьма много. Именно в связи с обсуждаемой проблемой следует указать на принципиальное различие между кластер-анализом и задачами группировки.

Если классы реальные, естественные, существуют на самом деле, четко отделены друг от друга, то любой алгоритм кластер-анализа их выделит. Следовательно, *в качестве критерия естественности классификации следует рассматривать устойчивость относительно выбора алгоритма кластер-анализа.*

Проверить устойчивость можно, применив к данным несколько подходов, например столь непохожие алгоритмы, как «ближнего соседа» и «дальнего соседа». Если полученные результаты содержательно близки, то они адекватны действительности. В противном случае следует предположить, что естественной классификации не существует, задача кластер-анализа не имеет решения, и можно проводить только группировку.

Часто применяется т.н. агломеративный иерархический алгоритм «Дендрограмма», в котором вначале все элементы рассматриваются как отдельные кластеры, а затем на каждом шагу объединяются два наиболее близких кластера. Для работы «Дендрограммы» необходимо задать правило вычисления расстояния между кластерами. Оно вычисляется через расстояние $d(x, y)$ между элементами x и y . Поскольку $d^a(x, y)$ при $0 < a < 1$ также расстояние, то, как правило, существует бесконечно много различных вариантов этого алгоритма. Представим себе, что они применяются для обработки одних и тех же реальных данных. Если при всех a получается одинаковое разбиение элементов на кластеры, то есть результат работы алгоритма устойчив по отношению к изменению a (в смысле общей схемы устойчивости, рассмотренной в [89]), то имеем «естественную» классификацию. В противном случае результат зависит от субъективно выбранного исследователем параметра a , то есть задача кластер-анализа неразрешима (предполагаем, что

выбор а нельзя специально обосновать). Задача группировки в этой ситуации имеет много решений. Из них можно выбрать одно по дополнительным критериям.

Следовательно, получаем эвристический критерий: если решение задачи кластер-анализа существует, то оно находится с помощью любого алгоритма. Целесообразно использовать наиболее простой.

Подходы к построению рейтинговых оценок (правил диагностики, прогностических правил). Для решения задач диагностики используют два подхода — параметрический и непараметрический. Первый из них обычно основан на использовании того или иного индекса (рейтинга) и сравнения его с порогом. Индекс может быть построен по статистическим данным, например как в классическом линейном дискриминантном анализе Фишера [25, 140]. Часто индекс представляет собой линейную функцию от характеристик, выбранных специалистами предметной области, коэффициенты которой подбирают эмпирически. Непараметрический подход связан с леммой Неймана — Пирсона в математической статистике и с теорией статистических решений. Он опирается на использование непараметрических оценок плотностей распределений вероятностей, описывающих диагностические классы.

Обсудим ситуацию подробнее. Математические методы диагностики, как и статистические методы в целом, делятся на параметрические и непараметрические. Первые основаны на предположении, что классы описываются распределениями из некоторых параметрических семейств. Обычно рассматривают многомерные нормальные распределения, при этом зачастую без обоснования принимают гипотезу о том, что ковариационные матрицы для различных классов совпадают. Именно в таких предположениях сформулирован классический дискриминантный анализ Фишера. Как известно, обычно не только нет теоретических оснований считать, что наблюдения извлечены из нормального распределения, но и проверка статистических гипотез согласия с нормальным законом дает отрицательный результат [76, 92]. Известно также, что по выборкам, объем которых не превосходит 50, нельзя сделать обоснованный вывод о принадлежности к нормальному закону [113].

Поэтому более корректными, чем параметрические, являются непараметрические методы диагностики. Исходная идея таких методов основана на лемме Неймана — Пирсона, входящей в стандартный курс математической статистики. Согласно этой лемме решение об отнесении вновь поступающего объекта (сигнала, наблюдения и др.) к одному из двух классов принимается на основе отношения плотностей $f(x)/g(x)$, где $f(x)$ — плотность распределения, соответствующая

первому классу, а $g(x)$ — плотность распределения, соответствующая второму классу.

Если плотности распределения неизвестны, то применяют их непараметрические оценки, построенные по обучающим выборкам. Пусть обучающая выборка объектов из первого класса состоит из n элементов, а обучающая выборка для второго класса — из m объектов. Тогда рассчитывают значения непараметрических оценок плотностей $f_n(x)$ и $g_m(x)$ для первого и второго классов соответственно, а диагностическое решение принимают по их отношению. Таким образом, для решения задачи диагностики достаточно научиться строить непараметрические оценки плотности для выборок объектов произвольной природы.

Методы построения непараметрических оценок плотности распределения вероятностей в пространствах произвольной природы подробно рассмотрены в литературе по прикладной статистике и эконометрике [76, 92]. На основе этих оценок могут быть построены непараметрические бинарные рейтинги. Достоинством таких рейтингов является их универсальность, возможность применения без необходимости обоснования трудно проверяемых условий (например, нормальности распределения характеристик объектов оценки). Недостатком является отсутствие явных формул, задающих рейтинг в виде некоторой конкретной функции $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ от единичных показателей (факторов) x_1, x_2, \dots, x_m , описывающих объект оценки.

Кроме того, для построения непараметрического бинарного рейтинга нужны обучающие выборки. Например, выборка описаний (объективных и экспертных данных) кредитоспособных потенциальных клиентов банка и аналогичная выборка некредитоспособных — для построения рейтинга кредитоспособности.

5.4. СРАВНЕНИЕ РЕЙТИНГОВ И ЛИНЕЙНЫЕ РЕЙТИНГИ

Из-за своей простоты популярны линейные рейтинги

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m$$

в виде линейной функции от единичных показателей (факторов) x_1, x_2, \dots, x_m . Коэффициенты a_1, a_2, \dots, a_m называют коэффициентами важности (весомости, значимости). Их определяют либо экспертным путем, либо оценивают по статистическим данным, используя обучающие выборки.

Например, строят рейтинг (интегральный показатель, оценку) финансового положения предприятия в виде линейной функции от неко-

торого количества переменных (показателей, факторов). Эта функция строится с помощью линейного дискриминантного анализа Фишера [140] и используется для принятия решения о финансовом положении предприятия.

Такой подход хорошо известен в эконометрике. В частности, он описан в главе 5 учебника [92]. Подход является устаревшим. Обоснованность его сомнительна, поскольку он основывается на модели многомерного нормального распределения. В настоящее время, как разъяснено в предыдущем разделе, рекомендуется применять непараметрический дискриминантный анализ, основанный на непараметрических ядерных оценках плотностей классов по обучающим же выборкам.

Однако и устаревший подход может дать практически полезные выводы. Обычно его применение разбито на этапы. Первый — построение системы показателей. Сначала составляют возможно более полный исходный перечень (специалисты по финансово-хозяйственной деятельности предприятия выделяют сотни и тысячи показателей). Затем список показателей сокращают. Например, проводят кластер-анализ показателей, оставляя из каждого кластера по одному представителю. Отбор информативного подмножества признаков в дискриминантном анализе — самостоятельный раздел прикладной статистики. Следующий этап — непосредственное построение линейного рейтинга на основе отобранных показателей с помощью алгоритмов дискриминантного анализа Фишера.

По одним и тем же данным могут быть построены различные рейтинги. Например, с помощью обучающих выборок можно построить непараметрический бинарный рейтинг (заданный алгоритмически) и линейный рейтинг. В той же прикладной задаче может оказаться полезным также и линейный рейтинг на основе экспертных оценок коэффициентов.

Обсудим два вопроса. Как сравнивать рейтинги, какой из них лучше? Можно ли вообще использовать линейный рейтинг?

О сравнении алгоритмов диагностики по результатам обработки реальных данных. Из трех этапов развития теории классификации в конкретной области рассмотрим этап применения диагностических правил, когда классы, к одному из которых нужно отнести вновь поступающий объект, уже выделены.

В прикладных исследованиях применяют различные методы дискриминантного анализа, основанные на вероятностно-статистических моделях, а также с ними не связанные, то есть эвристические, использующие детерминированные методы анализа данных. Незави-

симо от «происхождения», каждый подобный алгоритм должен быть исследован как на параметрических и непараметрических вероятностно-статистических моделях порождения данных, так и на различных массивах реальных данных. Цель такого исследования — выбор наилучшего алгоритма в определенной области применения, включение его в стандартные программные продукты, методические материалы, учебные программы и пособия. Но для этого надо уметь сравнивать алгоритмы по качеству. Как это делать?

Часто используют такой показатель качества алгоритма диагностики, как «вероятность правильной классификации» (при обработке конкретных данных — «частота правильной классификации»). Ниже мы покажем, что этот показатель качества некорректен, а потому пользоваться им не рекомендуется. Целесообразно применять другой показатель качества алгоритма диагностики — описанную далее оценку специального вида т.н. расстояния Махаланобиса между классами. Изложение проведем на примере разработки программного продукта для специалистов по диагностике материалов. Прообразом является диалоговая система «АРМ материаловед», разработанная Институтом высоких статистических технологий и эконометрики для ВНИИ эластомерных материалов.

При построении *информационно-исследовательской системы диагностики материалов* (ИИСДМ) возникает задача сравнения прогностических правил «по силе». Прогностическое правило — это алгоритм, позволяющий по характеристикам материала прогнозировать его свойства. Если прогноз дихотомичен («есть» или «нет»), то правило является алгоритмом диагностики, при котором материал относится к одному из двух классов. Ясно, что случай нескольких классов может быть сведен к конечной последовательности выбора между двумя классами.

Прогностические правила могут быть извлечены из научно-технической литературы и практики. Каждое из них обычно формулируется в терминах небольшого числа признаков, но наборы признаков сильно меняются от правила к правилу. Поскольку в ИИСДМ должно фиксироваться лишь ограниченное число признаков, то возникает проблема их отбора. Естественно отбирать лишь те из них, которые входят в наборы, дающие наиболее «надежные» прогнозы. Для придания точного смысла термину «надежный» необходимо иметь способ сравнения алгоритмов диагностики по прогностической «силе».

Результаты обработки реальных данных с помощью некоторого алгоритма диагностики в рассматриваемом случае двух классов описываются долями: правильной диагностики в первом классе k ; пра-

вильной диагностики во втором классе λ ; долями классов в объединенной совокупности π_i , $i = 1, 2$; $\pi_1 + \pi_2 = 1$.

При изучении качества алгоритмов классификации их сравнивают по результатам дискриминации вновь поступающей контрольной выборки. Именно по контрольной выборке определяются величины κ , λ , π_1 , π_2 . Однако иногда вместо контрольной используют обучающую выборку, то есть указанные величины определяются ретроспективно, в результате анализа уже имеющихся данных. Обычно это связано с трудоемкостью получения данных. Тогда κ и λ зависимы. Однако в случае, когда решающее правило основано на использовании дискриминантной поверхности, параметры которой оцениваются по обучающим выборкам, величины κ и λ асимптотически (при безграничном росте объемов выборок) независимы [66], что позволяет использовать приводимые ниже результаты и в этом случае.

Нередко как показатель качества алгоритма диагностики (прогностической «силы») используют долю правильной диагностики

$$\mu = \pi_1 \kappa + \pi_2 \lambda.$$

Однако показатель μ определяется, в частности, через характеристики π_1 и π_2 , $\pi_1 + \pi_2 = 1$, частично заданные исследователем (например, на них влияет тактика отбора образцов для изучения). В аналогичной медицинской задаче величина μ оказалась больше для тривиального прогноза, согласно которому у всех больных течение заболевания будет благоприятно. Тривиальный прогноз сравнивался с алгоритмом выделения больных с прогнозируемым тяжелым течением заболевания. Он разработан группой под руководством академика АН СССР И.М. Гельфанда. Применение этого алгоритма с медицинской точки зрения вполне оправданно [13].

Другими словами, по доле правильной классификации алгоритм академика И.М. Гельфанда оказался хуже тривиального — объявить всех больных легкими, не требующими специального наблюдения. Этот вывод очевидно нелеп. И причина появления нелепости вполне понятна. Хотя доля тяжелых больных невелика, но смертельные исходы сосредоточены именно в этой группе больных. Поэтому целесообразна гипердиагностика — рациональнее часть легких больных объявить тяжелыми, чем сделать ошибку в противоположную сторону.

Применение теории статистических решений требует знания потерь от ошибочной диагностики, а в большинстве научно-технических и экономических задач определить потери, как уже отмечалось, сложно. В частности, из-за необходимости оценивать человеческую жизнь в денежных единицах. По этическим соображениям это, на наш взгляд,

недопустимо. Сказанное не означает отрицания пользы страхования, но, очевидно, страховые выплаты следует рассматривать лишь как способ первоначального смягчения потерь от утраты близких.

Итак, применение теории статистических решений в рассматриваемой постановке вряд ли возможно, поскольку оценить количественно потери от смерти больного нельзя по этическим соображениям. Поэтому, на наш взгляд, долю правильной диагностики μ нецелесообразно использовать как показатель качества алгоритма диагностики.

Для выявления информативного набора признаков целесообразно использовать *метод пересчета на модель линейного дискриминантного анализа*, согласно которому статистической оценкой прогностической «силы» δ является т.н. «эмпирическая прогностическая сила»

$$\delta^* = \Phi(d^*/2), \quad d^* = \Phi^{-1}(\kappa) + \Phi^{-1}(\lambda).$$

где $\Phi(x)$ — функция стандартного нормального распределения вероятностей с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1, а $\Phi^{-1}(y)$ — обратная ей функция [80].

Пример 5.13. Если доли правильной классификации $\kappa = 0,90$ и $\lambda = 0,80$, то $\Phi^{-1}(\kappa) = 1,28$ и $\Phi^{-1}(\lambda) = 0,84$, откуда $d^* = 2,12$ и эмпирическая прогностическая сила $\delta^* = \Phi^{-1}(1,06) = 0,86$. При этом доля правильной классификации μ может принимать любые значения между 0,80 и 0,90, в зависимости от доли элементов того или иного класса среди анализируемых данных.

Если классы описываются выборками из многомерных нормальных совокупностей с одинаковыми матрицами ковариаций, а для классификации применяется классический линейный дискриминантный анализ Р. Фишера, то величина d^* представляет собой состоятельную статистическую оценку так называемого расстояния Махаланобиса между рассматриваемыми двумя совокупностями (конкретный вид этого расстояния сейчас не имеет значения), независимо от порогового значения, определяющего конкретное решающее правило. В общем случае показатель δ^* вводится как эвристический (то есть понятие истинной прогностической «силы» δ используется как базовое, без опоры на модель линейного дискриминантного анализа Р. Фишера).

Пусть алгоритм классификации применялся к совокупности, состоящей из m объектов первого класса и n объектов второго класса.

Теорема 5.1. Пусть $m, n \rightarrow \infty$. Тогда для всех x

$$P \left\{ \frac{\delta^* - \delta}{A(\kappa, \lambda)} < x \right\} \rightarrow \Phi(x),$$

где δ — истинная «прогностическая сила» алгоритма диагностики; δ^* — ее эмпирическая оценка,

$$A(\kappa, \lambda)^2 = \frac{1}{4} \left\{ \left[\frac{\varphi(d^*/2)}{\varphi(\Phi^{-1}(\kappa))} \right]^2 \frac{\kappa(1-\kappa)}{m} \left[\frac{\varphi(d^*/2)}{\varphi(\Phi^{-1}(\lambda))} \right]^2 \frac{\lambda(1-\lambda)}{n} \right\},$$

здесь $\varphi(x) = \Phi'(x)$ — плотность стандартного нормального распределения вероятностей с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

С помощью теоремы 5.1 по κ и λ обычным образом определяют доверительные границы для «прогностической силы» δ .

Пример 5.14. В условиях примера 5.13 при $m = n = 100$ найдем асимптотическое среднее квадратическое отклонение $A(0,90; 0,80)$.

Поскольку $\varphi(\Phi^{-1}(\kappa)) = \varphi(1,28) = 0,176$, $\varphi(\Phi^{-1}(\lambda)) = \varphi(0,84) = 0,280$, $\varphi(d^*/2) = \varphi(1,06) = 0,227$, то подставляя в выражение для A^2 численные значения, получаем, что

$$A^2(0,90; 0,80) = \frac{0,0372}{m} + \frac{0,0265}{n}$$

(численные значения плотности стандартного нормального распределения с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 и функции, обратной к функции этого распределения, можно было взять, например, из справочника [6]).

При $m = n = 100$ имеем $A(0,90; 0,80) = 0,0252$. При доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ имеем $u(0,95) = \Phi^{-1}(1,0,975) = 1,96$, а потому нижняя доверительная граница для прогностической силы δ есть $\delta_H = 0,86 - 1,96 \times 0,0252 = 0,81$, а верхняя доверительная граница такова: $\delta_B = 0,86 + 1,96 \times 0,0252 = 0,91$. Аналогичный расчет при $m = n = 1000$ дает $\delta_H = 0,845$, $\delta_B = 0,875$.

Можно ли использовать линейный рейтинг? Как проверить обоснованность пересчета на модель линейного дискриминантного анализа? Допустим, что классификация состоит в вычислении некоторого прогностического индекса y и сравнении его с заданным порогом c . Объект относят к первому классу, если $y \leq c$, ко второму, если $y > c$. Прогностический индекс — это обычно линейная функция от характеристик рассматриваемых объектов. Другими словами, от координат векторов, описывающих объекты.

Возьмем два значения порога c_1 и c_2 . Если пересчет на модель линейного дискриминантного анализа обоснован, то, как можно показать, «прогностические силы» для обоих правил совпадают: $\delta(c_1) = \delta(c_2)$. Выполнение этого равенства можно проверить как статистическую гипотезу. Укажем способ проверки, то есть опишем соответствующий критерий проверки статистической гипотезы.

Пусть κ_1 — доля объектов первого класса, для которых $y \leq c_1$, а κ_2 — доля объектов первого класса, для которых $c_1 < y \leq c_2$. Аналогично пусть λ_2 — доля объектов второго класса, для которых $c_1 < y < c_2$,

а λ_3 — доля объектов второго класса, для которых $y > c_2$. Тогда можно рассчитать две оценки одного и того же расстояния Махаланобиса. Они имеют вид:

$$d^*(c_1) = \Phi^{-1}(\kappa_1) + \Phi^{-1}(\lambda_2 + \lambda_3), d^*(c_2) = \Phi^{-1}(\kappa_1 + \kappa_2) + \Phi^{-1}(\lambda_3).$$

Теорема 5.2. Если истинные прогностические силы двух правил диагностики совпадают, то есть $\delta(c_1) = \delta(c_2)$, то при $m \rightarrow \infty$, $n \rightarrow \infty$ при всех x

$$P \left\{ \frac{d^*(c_1) - d^*(c_2)}{B} < x \right\} \rightarrow \Phi(x),$$

где

$$B^2 = \frac{1}{m} T(\kappa_1; \kappa_2) + \frac{1}{n} T(\lambda_3; \lambda_2);$$

$$T(x, y) = \frac{x(1-x)}{\varphi^2(\Phi^{-1}(x))} + \frac{(x+y)(1-x-y)}{\varphi^2(\Phi^{-1}(x+y))} - \frac{2x(1-x)}{\varphi(\Phi^{-1}(x))\varphi(\Phi^{-1}(x+y))}.$$

Из теоремы 5.2 вытекает метод проверки рассматриваемой гипотезы: при выполнении неравенства

$$\left| \frac{d^*(c_1) - d^*(c_2)}{B} \right| \leq \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

она принимается на уровне значимости, асимптотически равном α , в противном случае — отвергается.

Пример 5.15. Пусть данные примеров 5.13 и 5.14 соответствуют порогу c_1 . Пусть порогу c_2 соответствуют $\kappa_2 = 0,95$ и $\lambda_3 = 0,70$. Тогда в обозначениях теоремы 3 $\kappa_1 = 0,90$, $\kappa_2 = 0,05$, $\lambda_2 = 0,10$, $\lambda_3 = 0,70$. Далее $d^*(c_1) = 2,12$ (пример 1), $d^*(c_2) = 2,17$, $T(\kappa_1, \kappa_2) = 2,22$, $T(\lambda_3, \lambda_2) = 0,89$. Гипотеза о совпадении прогностических сил на двух порогах принимается на уровне значимости $\alpha = 0,05$ тогда и только тогда, когда

$$\frac{0,05^2}{\frac{2,22}{m} + \frac{0,89}{n}} \leq 1,96^2,$$

то есть когда

$$\frac{2,22}{m} + \frac{0,89}{n} \geq 0,00065.$$

Так, гипотеза принимается при $m = n = 1000$ и отвергается при $m = n = 5000$.

Экспертно-статистический метод. Оценивание экспертами коэффициентов линейного рейтинга не всегда надежно. Особенно в ситуации, когда экспертов мало, а разброс мнений экспертов велик. Тогда представляется целесообразным не оценивать коэффициенты, а привлечь высококвалифицированных экспертов для глобальной оценки, то есть оценки непосредственно рейтинга

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m.$$

Предположим, что рейтинговые оценки высококвалифицированных экспертов являются числовыми. Тогда в качестве данных, исходных для статистического анализа, имеем выборку

$$(Y_i; x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}), i = 1, 2, \dots, n,$$

где n — число ответов высококвалифицированных экспертов, содержащих глобальные оценки рейтинга для n ситуаций. С точки зрения прикладной статистики имеем задачу линейного регрессионного анализа, которая решается стандартными методами (с помощью непараметрического метода наименьших квадратов [76, 92]).

Нет необходимости требовать, чтобы оценки высококвалифицированных экспертов являлись числами. Можно ограничиться результатами парных сравнений или ранжировками. Ясно, что такого рода глобальные оценки гораздо легче получить, и они будут более надежными (исходя из ранее обоснованного общего утверждения, что нечисловые ответы более естественны для экспертов, чем числовые). Затем по глобальным экспертным оценкам для n ситуаций можно состоятельно оценить коэффициенты линейного рейтинга [27]. Математический аппарат необходим иной, не тот, что в ранее рассмотренном случае глобальных числовых оценок высококвалифицированных экспертов.

В настоящее время теория рейтингов продолжает бурно развиваться [22, 39]. Так, проблемам обоснованного выбора коэффициентов важности посвящены работы В.В. Подиновского [106 — 108]. Сравнительный анализ пяти традиционных и четырех относительно новых методов нахождения коэффициентов важности бинарных (то есть принимающих два значения) факторов осуществлен И.Ф. Шахновым [135]. При этом исходной информацией служат экспертные оценки, имеющие качественный характер. Построение рейтингов результативности и продуктивности исследователей и научных коллективов рассмотрено в [38].

Очевидна связь теории рейтингов с современной весьма математизированной теорией полезности [127], поскольку рейтинговая оценка — частный случай функций полезности, используемой для упорядочения объектов экспертизы.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о содержании и использовании матрицы портфеля Бостонской консалтинговой группы.
2. Чем отличаются методы проверочного списка и суммарной оценки?
3. Проведите первичную формализацию описания ситуации при гипотетическом переходе на новую работу.

4. Как бы вы расставили баллы на месте Пети Иванова при принятии решения о выборе места работы?
5. Проведите декомпозицию задачи принятия решения при гипотетическом переходе на новую работу.
6. Почему метод декомпозиции является весьма полезным при решении многих задач принятия решений?
7. Пусть рейтинговая оценка имеет четыре возможных значения. Как ее выразить через бинарные рейтинги?
8. Как соотносятся задачи группировки и задачи кластер-анализа?
9. В таблице 5.7 приведены попарные расстояния между десятью социально-психологическими признаками способных к математике школьников [94]. Примените к этим данным алгоритмы ближнего соседа, средней связи и дальнего соседа. Для каждого из трех алгоритмов выделите наиболее устойчивые разбиения на кластеры.

Таблица 5.7

Попарные расстояния между социально-психологическими признаками, условные единицы

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 2 | 1 028 | | | | | | | | |
| 3 | 1 028 | 608 | | | | | | | |
| 4 | 1 050 | 688 | 610 | | | | | | |
| 5 | 1 012 | 686 | 636 | 634 | | | | | |
| 6 | 1 006 | 566 | 538 | 616 | 562 | | | | |
| 7 | 1 012 | 1 026 | 748 | 692 | 774 | 732 | | | |
| 8 | 960 | 1 088 | 1 144 | 1 122 | 1 120 | 1 130 | 1 110 | | |
| 9 | 1 026 | 878 | 874 | 830 | 836 | 802 | 904 | 1 040 | |
| 10 | 990 | 744 | 674 | 744 | 718 | 580 | 814 | 1 090 | 830 |

10. Почему долю правильной диагностики нецелесообразно использовать как показатель качества алгоритма диагностики («прогностической силы»)?
11. Расскажите об «эмпирической прогностической силе» как показателе качества алгоритма диагностики.
12. Как проверить возможность использования линейного рейтинга?
13. По данным табл. 5.8 рассчитайте оценки объектов экспертизы
 - 1) по сумме баллов и
 - 2) по взвешенной сумме баллов, заполните две заключительные строки в таблице, на их основе постройте кластеризованные ранжировки (упорядочения) объектов экспертизы
 - 3) по сумме баллов и
 - 4) по взвешенной сумме баллов, а также
 - 5) согласующую их кластеризованную ранжировку.

Таблица 5.8

Оценки факторов при выборе места работы, баллы

| № п/п | Фактор | МГТУ им. Н.Э. Баумана | Крупное предприятие | Малое предприятие | Зарубежная фирма | Веса факторов |
|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------|
| 1 | Оплата труда | 1 | 5 | 9 | 10 | 0,76 |
| 2 | Перспективы роста | 10 | 7 | 1 | 2 | 0,74 |
| 3 | Начальство | 8 | 6 | 4 | 2 | 0,40 |
| 4 | Коллектив | 9 | 7 | 2 | 1 | 0,33 |
| 5 | Время на дорогу | 5 | 3 | 10 | 7 | 0,27 |
| 6 | Интерес | 10 | 3 | 1 | 8 | 0,5 |
| 7 | Сумма баллов | | | | | |
| 8 | Сумма баллов с весами | | | | | |

14. По данным табл. 5.9 рассчитайте оценки объектов экспертизы

- 1) по сумме баллов и
- 2) по взвешенной сумме баллов, заполните две заключительные строки в таблице, на их основе постройте кластеризованные ранжировки (упорядочения) объектов экспертизы
- 3) по сумме баллов и
- 4) по взвешенной сумме баллов, а также
- 5) согласующую их кластеризованную ранжировку.

Таблица 5.9

Оценки фактов при выборе места работы, баллы

| № п/п | Фактор | МГТУ им. Н.Э. Баумана | Крупное предприятие | Малое предприятие | Зарубежная фирма | Веса факторов |
|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------|
| 1 | Оплата труда | 1 | 5 | 10 | 9 | 32 |
| 2 | Перспективы роста | 10 | 7 | 1 | 2 | 19 |
| 3 | Устойчивость | 10 | 9 | 3 | 4 | 16 |
| 4 | Начальство | 8 | 6 | 4 | 2 | 5,5 |
| 5 | Коллектив | 9 | 7 | 2 | 1 | 5,5 |
| 6 | Криминал | 10 | 4 | 1 | 6 | 5,5 |
| 7 | Режим | 10 | 4 | 7 | 1 | 5,5 |
| 8 | Время на дорогу | 5 | 3 | 10 | 7 | 5,5 |
| 9 | Соц. пакет | 2 | 6 | 2 | 10 | 5,5 |
| 10 | Сумма баллов | | | | | |
| 11 | Сумма баллов с весами | | | | | |

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Роль матрицы портфеля Бостонской консалтинговой группы при разработке и принятии управленческих решений.
2. Инструменты стратегического менеджмента.
3. Проблема устойчивости выводов (по отношению к малым отклонениям исходных данных и субъективным «оцифровкам» качественных оценок) при решении проблем стратегического менеджмента.
4. Методы построения суммарной оценки проекта по оценкам отдельных факторов.
5. Способы выбора весовых коэффициентов в задачах стратегического менеджмента.
6. Введите веса факторов (исходя из своей индивидуальной экспертной оценки) и на основе данных табл. 5.4 решите задачу Пети Иванова об упорядочении по привлекательности возможных мест работы.
7. Классификация постановок задач декомпозиции в теории и практике принятия решений.
8. Использование весовых коэффициентов в задачах принятия решений.
9. Проблема агрегирования значений единичных показателей при принятии решений.
10. Разработайте алгоритм, с помощью которого любую рейтинговую оценку, принимающую конечное число значений, можно выразить через бинарные рейтинги.
11. Современная теория рейтингов.
12. Подходы к выбору коэффициентов важности (на основе [107]).

Глава 6

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА

В качестве примера разработки процедур принятия управленческих решений в условиях неопределенности и риска на основе использования вероятностно-статистических и экспертных методов оценки риска в конкретной прикладной задаче рассмотрим предлагаемый Институтом высоких статистических технологий и эконометрики МГТУ им. Н.Э. Баумана подход к оценке рисков для малых предприятий. Опишем его на примере выполнения инновационных проектов в вузах.

6.1. БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Научно-исследовательский коллектив, выполняющий инновационный проект — это по сути своей самостоятельное малое предприятие. Однако такому предприятию целесообразно передать часть своих вспомогательных функций, включая оформление финансовых взаимоотношений, предприятию-носителю, в рассматриваемой схеме — вузу, то есть осуществить глубокий аутсорсинг, настолько глубокий, что научно-исследовательский коллектив не стремится иметь юридическое лицо. В современном мире все чаще используется модель аутсорсинга. На русский язык *outsourcing* переводится как «заимствование ресурсов извне». Аутсорсинг — это выполнение сторонней организацией определенных задач или некоторых бизнес-процессов, обычно не являющихся профильными для бизнеса компании, но необходимых для полноценного функционирования бизнеса.

Известна роль технопарков в развитии малого венчурного бизнеса. Аналогично сказанному о вузах в технопарках часть функций входящих в него малых предприятий выполняется службами, общими для всего технопарка.

Основные понятия инновационного менеджмента рассмотрены в литературе [77, гл.1.4]. Разработке и освоению нововведений препятствуют отсутствие необходимых навыков и знаний, недостаток кадровых, финансовых и материально-технических ресурсов и т.д.

Учитывая слабую роль государства (в настоящее время) в развитии и стимулировании инноваций, предприниматели должны изыскивать возможности развития инноваций в малом бизнесе.

Информационные технологии в управлении инновационными процессами. Новые подходы к управлению инновационными процессами, неразрывно связанные с использованием экспертных оценок, опираются на современные информационные технологии. Обсудим разработку функциональной структуры интернет-аукциона высоких технологий на основе организационно-технологической схемы реализации задачи коммерциализации результатов исследований и разработок. Необходимо решить следующие задачи:

- уточнить классификацию жизненного цикла инновационных проектов и разработать структурную схему основных бизнес-процессов инновационной деятельности с использованием интернет-аукционов;
- разработать организационно-технологическую схему системного использования средств электронной коммерции для целей интернет-аукциона высоких технологий;
- разработать структурно-функциональную схему бизнес-процессов подготовки и проведения интернет-аукциона высоких технологий, а также ее компонентов для обеспечения поддержки инновационных исследований в области наукоемких технологий, в том числе разработать организационно-экономический компонент и компонент маркетинговой поддержки.

Начнем с разработки классификации жизненного цикла инновационных проектов и структурной схемы основных бизнес-процессов инновационной деятельности с использованием интернет-аукционов. Коммерциализация инновационного проекта с использованием интернет-аукциона возможна на всех основных стадиях его жизненного цикла. Под коммерциализацией понимаем юридически закрепленный (в соответствующем договоре) переход всех или части прав на интеллектуальную собственность от одних юридических или физических лиц к другим, обычно в сочетании с адекватным движением финансовых средств и других ресурсов. Возможна многократная коммерциализация; проект может многократно перепродаваться, переходя при этом со стадии на стадию. При подготовке к коммерциализации инновационный проект дорабатывается с целью выявления его коммерческой привлекательности и становится инновационным бизнес-проектом.

Коммерциализацию зачастую целесообразно проводить в форме интернет-аукциона, то есть на основе современных информационных технологий электронной коммерции. С точки зрения электронной коммерции, особенностью коммерциализации инновационного про-

екта в области высоких технологий является необходимость предоставления участникам аукциона обширной информации по каждому лоту, выставляемому на интернет-аукцион. При этом структура документации зависит от стадии жизненного цикла инновационного проекта. Целесообразны также непосредственные контакты (по интернету) между разработчиками проекта и участниками аукциона.

Поскольку в процессе коммерциализации участвуют четыре стороны, то организация интернет-аукциона должна учитывать:

- интересы и потребности «продавцов» идей и/или прав на использование интеллектуальной собственности, инновационных бизнес-проектов (и/или соискателей инвестиций);
- «покупателей» идей и/или прав на использование интеллектуальной собственности, инновационных бизнес-проектов (и/или заказчиков новых технологий);
- «продавцов» денег (инвесторов);
- «продавцов» услуг остальным участникам рынка инноваций и инвестиций (работников в сфере организационно-экономической поддержки проведения интернет-аукционов — экспертов, аналитиков, маркетологов, оценщиков, компьютерщиков и др.).

Торги при проведении интернет-аукционов могут проводиться в различных формах — в виде конкурса предложений, в режиме реального времени, с предварительным отбором участников и т.п. Сложность состоит в многомерности (многокритериальности) предпочтений участников торгов, как продавцов, так и покупателей. В отличие от стандартных товаров предпочтения не сводятся к одномерному критерию — цене.

Начальный этап (этап 1) инновационного проекта — формирование идеи, которая ляжет в его основу. Рождение идеи — творческий процесс. Автор идеи — конкретное физическое лицо (или группа лиц). Юридическую защиту авторство имеет только в рамках авторского права. Адресного финансирования формирование идеи обычно не предполагает. Коммерциализация идеи в отдельных случаях возможна, но не через интернет-аукцион, поскольку подготовка материалов для интернет-аукциона выходит за пределы этапа формирования идеи.

Этап 2 — оформление интеллектуальной собственности — состоит в формировании коллектива собственников инновационного проекта, их долевого или иного участия в расходах и доходах по мере движения по траектории инновационного проекта. В случае более одного собственника этап заканчивается подписанием договора, участниками которого могут быть как физические, так и юридические лица. По мере

движения по траектории инновационного проекта могут быть подписаны новые договоры по оформлению интеллектуальной собственности. По завершении этапа 2 возможен выход на интернет-аукцион.

Этап 3 — защита интеллектуальной собственности — состоит в подготовке и оформлении патентов и иных правовых документов, фиксирующих и защищающих права на интеллектуальную собственность, сопутствующую инновационному проекту в процессе движения по его траектории. Наличие патентов, несомненно, повышает рыночную стоимость инновационного проекта, поскольку демонстрирует положительные результаты экспертизы при выдаче патента. Однако получение патентов и иных правовых документов растянуто во времени.

Этап 4 — НИР по тематике инновационного проекта. Часто (но не всегда) первоначальная идея нуждается в развитии. Иногда нужны фундаментальные исследования; чаще необходимы разработки, относящиеся к прикладной науке. Результаты этапа 4 отражаются в виде научных публикаций, отчетов, докладов на научно-технических конференциях, представлений на выставках, в интернете. С точки зрения коммерциализации инновационных проектов, результаты этапа 4 подтверждают и развивают первоначальную идею; дают потенциальным покупателям основания для участия в интернет-аукционе, демонстрируя поддержку идеям авторов проекта со стороны научной общественности.

Этап 5 — разработка а-модели (опытного образца). Большое психологическое воздействие на потенциальных покупателей оказывает демонстрация действующего устройства. Поэтому выделяем этап 5, на котором осуществляет переход от «слов» к «железу». Основным итогом этапа 5, который во многих случаях естественным образом вытекает из этапа 4, является а-модель — устройство, посредством которого автор/разработчик подтверждает соответствие заявленным техническим решениям. Речь идет об опытном образце изделия, который демонстрирует возможности будущего серийного изделия. Естественно, он подвергается техническим испытаниям, и информация о достигнутых характеристиках доступна потенциальным покупателям. Достаточно часто этап 5 растянут во времени.

На этом этапе возможность коммерциализации инновационного проекта становится заметным фактором его движения по траектории развития.

Этап 6 — маркетинговые исследования. Судя по опыту МГТУ им. Н.Э. Баумана, в области высоких технологий коллективы разработчиков обычно сосредотачиваются на научно-технических проблемах новшеств, составляя календарные планы перехода к промышлен-

ному производству. Сроки и стоимость такого перехода коллективы разработчиков, как правило, приводят в своих заявках, адресованных потенциальным покупателям. Однако маркетинговая составляющая заявки обычно проработана плохо.

Необходимость маркетинговых исследований становится очевидной именно после создания опытного образца (этап 5), когда продемонстрирована возможность достижения научно-технической цели проекта. На предыдущих этапах обсуждения характеристик потенциальных потребителей также ведутся, но обычно на уровне кабинетных маркетинговых исследований с использованием экспертных оценок. После этапа 5 наряду с разворачиванием кабинетных исследований потребителей и конкурентов переходят к полевым исследованиям.

Этап 7 — оценка эффекта. Если маркетинговые исследования показывают целесообразность дальнейшей проработки заявки на коммерциализацию инновационного проекта, то следующим этапом является оценка эффекта при внедрении проекта. Желательна подготовка подробного или сокращенного бизнес-плана, включающего организационный план, производственный план, финансовый план и др. Должны быть оценены различные характеристики экономического эффекта от внедрения новшества, а также проанализированы другие виды эффектов. В бизнес-план включают результаты маркетинговых исследований, оценку и методы управления рисками при реализации проекта. Подготовкой бизнес-планов должны заниматься специалисты в области организационно-экономического обеспечения инновационной деятельности. Наличие квалифицированно подготовленного бизнес-плана значительно увеличивает шансы на успешную коммерциализацию проекта.

Этап 8 — экспертиза. На всех этапах жизненного цикла инновационного проекта — формирование, маркетинговые исследования, оценка эффективности, принятие решения о реализации, внедрение, контроль после внедрения, оценка эффективности реализации проекта — используются разнообразные процедуры экспертного оценивания. Особенно необходима независимая экспертиза заявки на коммерциализацию и бизнес-плана инновационного проекта перед проведением интернет-аукциона.

Этап 9 — интернет-аукцион. В результате интернет-аукциона может быть принято решение о реализации или о передаче прав на использование результатов, полученных в ходе выполнения инновационного проекта. интернет-аукцион может быть проведен практически на любой стадии жизненного цикла — от оформления прав на интеллектуальную собственность до внедрения результатов.

К заказчикам и инвесторам целесообразно обращаться с бизнес-планом, используя современные информационные технологии проведения интернет-аукционов. Подчеркнем ведущую роль «электронных» экономических связей субъектов инновационной деятельности, необходимость развития информационной культуры и цифровой культуры, роль мощного центрального игрока, обеспечивающего использование систем электронной коммерции и средств организационно-технологического обеспечения.

Рассмотрим основные бизнес-процессы интернет-аукциона высоких технологий. Организационно-технологическая схема системного использования средств электронной коммерции предусматривает ведение информационных реестров, необходимых при подготовке и проведении аукционов и конкурсов, мониторинге жизненного цикла инновационных проектов. К составляющим структурно-функциональной схемы бизнес-процессов интернет-аукциона высоких технологий относится информационная, организационно-методическая и инструментальная среда, соединяющая интересы продавцов и покупателей информации об инновационных технологиях и (или) прав на них. Основные составляющие бизнес-модели: партнерская сеть; передача (приобретение) информации; комплекс услуг по продвижению, доведению технологий до внедрения, предоставлению инвестиций. Очевидна роль системы баз данных (реестров) при распространении (рассылке) информации при проведении интернет-аукциона высоких технологий, подготовке проектов к рассмотрению.

Этап 10 — подготовка к внедрению — ОКР и модель b. Необходимый этап жизненного цикла инновационного проекта — опытно-конструкторские работы, позволяющие перейти от опытного образца к серийному производству. Этап завершается подготовкой b-модели — устройства, посредством которого автор/разработчик подтверждает технологическую воспроизводимость научно-технической идеи. Речь идет о прототипе будущего серийного изделия вместе с технологической документацией. Технологическую подготовку выпуска изделия целесообразно увязывать с возможностями завода-изготовителя, а потому проводить силами заказчика после проведения интернет-аукциона и получения всей необходимой документации от коллектива разработчиков первоначальной идеи. При этом должна быть обеспечена возможность консультаций со стороны коллектива разработчиков первоначальной идеи. Возможны и иные варианты. Например, если коллектив разработчиков первоначальной идеи действует в составе научно-производственного объединения, то этап 9 может быть проведен силами «материнского» НПО.

Этап 11 — внедрение и выход на рынок. Реализация проекта, например начало серийного выпуска и продажи изделия, знаменует собой конец инновационной составляющей проекта и переход к типовой ситуации производства продукции в современных условиях.

Этап 12 — контроль после внедрения. Однако коллектив разработчиков должен продолжать осуществлять контроль и авторский надзор за выпуском изделия, адекватно реагируя на предложения изготовителей и рекламации потребителей. Возможность и необходимость авторского надзора должна быть закреплена в договорах, заключенных по итогам интернет-аукциона.

Этап 13 — оценка результатов реализации проекта. Очевидно, должны быть оценены краткосрочные и долгосрочные последствия реализации проекта — социальные, технологические, экологические, экономические, политические. Для инвесторов представляют интерес срок окупаемости и другие характеристики финансовых потоков инвестиционного проекта.

Перейдем к разработке организационно-технологической схемы системного использования средств электронной коммерции для целей интернет-аукциона высоких технологий. Проанализируем различные варианты типовых траекторий инновационного проекта в области высоких технологий. Базовый вариант имеет вид

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 — 7 — 8 — 9 — 10 -11 — 12 — 13.

Отметим, что этапы 6 и 7, как правило, используют процедуры на основе экспертных оценок, поэтому для адекватного отражения роли экспертиз представим базовый вариант в виде

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 (8) — 7 (8) — 8 — 9 — 10 -11 — 12 — 13.

Выход на интернет-аукцион, то есть на связку этапов 8 — 9, возможен не только после этапа 7. Так, вариант траектории

1 — 2 — 3 — 8 — 9 — 4 — 5 — 6 (8) — 7 (8) — 10 -11 — 12 — 13.

соответствует продаже патента, после чего покупатель проводит НИР для детального изучения явления и проходит через все остальные этапы траектории инновационного проекта.

Однако покупатель патента может довести проект до стадии коммерческой привлекательности и продать его через интернет-аукцион:

1 — 2 — 3 — 8 — 9 — 4 — 5 — 6 (8) — 7 (8) — 8 — 9 — 10 -11 — 12 — 13.

После выхода на рынок может произойти еще одна смена собственника:

1 — 2 — 3 — 8 — 9 — 4 — 5 — 6 (8) — 7 (8) — 8 — 9 — 10 -11 — 8 — 9 — 12 — 13,

например, выведшее продукцию на рынок малое предприятие продает технологически отраженное и проверенное на покупателях производство крупной фирме, которая разворачивает массовый выпуск нового товара. Итак, выписанная последней траектория предусматривает трехкратную смену собственника инновационного проекта через интернет-аукцион.

Вполне рациональной выглядит схема, когда для технологической отработки товара создается малое предприятие, которое покупает идею, доводит ее до промышленного выпуска, а потом продает производство крупной фирме:

1 — 2 — 3 — 8 — 9 — 4 — 5 — 6 (8) — 7 (8) — 10 -11 — 8 — 9 — 12 — 13.

Более реальной является ситуация, когда первоначальный владелец передает проект малому предприятию после этапа 5 (разработки опытного образца):

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 8 — 9 — 6 (8) — 7 (8) — 10 -11 — 8 — 9 — 12 — 13.

Именно такой вариант (с упором на роль малого предприятия) часто рекомендуется использовать рядом российских структур.

Отметим, что этап 8 (экспертиза) в скрытой или развернутой форме присутствует и на ранних этапах траектории. Так, базовый вариант при подробном анализе естественно представить в виде

1 — (8) — 2 — (8) — 3 — (8) — 4 — (8) — 5 — (8) — 6 (8) — (8) — 7 (8) -
- (8) — 8 — 9 — (8) — 10 -(8) — -11 — 12 (8) — 13 (8).

Каждый этап, обозначенный (8), состоит в принятии на основе экспертных оценок решения о продолжении или прекращении проекта. Очевидно, прекращение проекта приводит к потере средств, вложенных в проект. Речь идет о рисках, связанных с выполнением инновационных проектов.

Рассмотрим начальные этапы траектории проекта 1-5. Обычно они связаны с деятельностью коллектива разработчиков исходной идеи. Выше в качестве базовой рассматривалась схема

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — ...

Однако не менее распространенными являются схемы начального участка

1 — 4 — 5 — 2 — 3 — ...

(сначала сделан опытный образец, а потом — по итогам его создания — решаются проблемы формирования и защиты интеллектуальной собственности),

1 — 2 — 4 — 5 — 3 — ...

(авторство идеи не вызывает споров, а закрепление интеллектуальной собственности происходит после демонстрации работоспособности идеи),

1 — 2 — 4 — 3 — 5 — ...

1 — 4 — 2 — 5 — 3 — ...

1 — 4 — 2 — 3 — 5 — ...

(промежуточные варианты, показывающие, что две подтраектории, состоящие из этапов 2—3 и 4—5 соответственно, могут быть пройдены в произвольном порядке).

Преобразуя начальные участки первых восьми из указанных выше траекторий с помощью пяти только что выписанных вариантов начального участка, получаем на основе каждой из них еще 5 траекторий, так что всего имеем уже $8 \cdot 6 = 48$ траекторий.

Однако и это не все. При движении по 25 траекториям из 48 этапы 6 и 7 выполняются последовательно один за другим. Однако ясно, что бизнес-план целесообразно разрабатывать на основе данных о том конкретном предприятии, на котором будет осуществляться проект. Следовательно, может оказаться целесообразным проводить интернет-аукцион не между этапами 7 и 10, а между этапами 6 и 7 в соответствии с траекториями

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 — 8 — 9 — 7 — 10 — 11 — 12 — 13

1 — 4 — 5 — 2 — 3 — 6 — 8 — 9 — 7 — 10 — 11 — 12 — 13

и др.

Перечень возможных траекторий на этом далеко не закончен. Можно представить себе проведение маркетинговых исследований в самом начале согласно траектории

1 — 2 — 3 — 6 — 4 — 5 — 8 — 9 — 7 — 10 — 11 — 12 — 13

или же оформление и защиту интеллектуальной собственности непосредственно перед выходом на интернет-аукцион

1 — 6 — 4 — 5 — 2 — 3 — 8 — 9 — 7 — 10 — 11 — 12 — 13.

Из сказанного следует: на интернет-аукционы могут быть выставлены инновационные проекты на различных этапах их жизненного цикла, с самыми разными наборами выполненных этапов. Следовательно, набор документации, представляемой на интернет-аукцион, должен быть гибким с целью учесть особенности конкретных инновационных проектов. Целесообразно обеспечить возможность контактов разработчиков и потенциальных покупателей.

Схема организационно-экономической поддержки инновационных исследований. Чтобы разработать организационно-технологическую схему системного использования средств электронной коммерции для целей интернет-аукциона высоких технологий, необходимо найти наиболее рациональный способ обеспечения участников инновационного процесса всеми необходимыми видами организационно-экономической поддержки.

Для успешного осуществления инновационной деятельности кроме научно-технических коллективов, предлагающих заявки к рассмотрению, заказчиков, реализующих проекты, и инвесторов, обеспечивающих финансирование, необходима структура, занимающаяся организационно-экономическим обеспечением — маркетинговыми исследованиями, подготовкой бизнес-планов, проведением экспертиз, использованием информационных технологий. Очевидна необходимость создания *Инновационного центра* — аналитического консалтингового центра для организационно-экономической поддержки конкретных инновационных исследований в области наукоемких технологий при подготовке и проведении интернет-аукциона высоких технологий. Роль и задачи аналитического консалтингового центра вытекают из структуры проектируемой системы интернет-аукциона высоких технологий. Его задачи:

1. Организационно-экономическая экспертиза конкретных инновационных проектов.
2. Разработка типовых схем их бизнес-планов.
3. Прогнозирование научно-технического прогресса в области наукоемких (высоких) технологий, а также спроса на продукцию высокотехнологичных отраслей промышленности.
4. Организация и проведение интернет-аукционов высоких технологий.

Отдельно выделим структурно-функциональную схему маркетинговой поддержки конкретных инновационных исследований в наукоемких областях при проведении интернет-аукциона высоких технологий. Она включает схемы осуществления полевых и кабинетных маркетинговых исследований с целью изучения рынков в области проведения интернет-аукциона и выявления предпочтений потребителей при разработке конкретных инновационных проектов. А также схемы организационно-экономической поддержки творческих коллективов по вопросам стратегии и тактики завоевания рынка (планирование рекламной кампании, разработка рекламного бюджета и др.), стратегического маркетинга и обеспечения конкурентоспособности.

Рассмотрим проблемы разработки структурно-функциональной схемы бизнес-процессов подготовки и проведения интернет-аукциона высоких технологий, а также ее компонентов для обеспечения поддержки инновационных исследований в области наукоемких технологий. Интернет-аукционы по инновационным проектам в области высоких технологий могут быть проведены после осуществления тех или иных стадий инновационных проектов. При подготовке к интернет-аукциону заявитель готовит необходимую документацию по своему проекту, прежде всего бизнес-план.

Разработка структурно-функциональной схемы бизнес-процессов подготовки и проведения интернет-аукциона высоких технологий соответствует логике построения и рассмотрения бизнес-планов инновационных проектов. Такие планы строятся и оцениваются по тем же схемам, что и бизнес-планы в иных сферах деятельности, однако с учетом специфики инновационной деятельности. Итак, заказчик и инвестор для принятия решений на интернет-аукционе нуждаются в бизнес-плане.

Разработка организационно-экономического компонента. Необходима разработка таких компонентов структурно-функциональной схемы бизнес-процессов подготовки и проведения интернет-аукциона высоких технологий, как блок оценки экономической эффективности инновационных проектов, требующих инвестиций, и блок оценки рисков инновационных проектов. Эти компоненты необходимы для обеспечения поддержки инновационных исследований в области наукоемких технологий. В разделе разработаны методы оценки устойчивости чистой текущей стоимости NPV к малым отклонениям значений дисконт-функции, а также основанный на вероятностно-статистическом моделировании (с использованием экспертов) подход к оценке инновационных рисков.

Процедуры экспертного оценивания нужно применять не только на заключительном этапе, но и на всех остальных этапах анализа инвестиционного проекта.

Разработка компонента маркетинговой поддержки. Блок маркетинговой поддержки инновационных проектов — компонента структурно-функциональной схемы бизнес-процессов подготовки и проведения интернет-аукциона высоких технологий. Изучение рынка проводится путем непосредственного наблюдения, с помощью анализа данных о продажах и опроса потребителей, экспериментальными методами — выпуском пилотных (то есть пробных) партий товара, и т.п. Все возможности маркетинга используются при проведении организационно-экономической поддержки инновационных проектов.



Рис. 6.1. Основные составляющие структуры Инновационного центра

Базовая цель Инновационного центра, занимающегося организационно-экономической поддержкой инновационных проектов в области высоких технологий — повышение эффективности коммерциализации технологий (изобретений), а в качестве основной проблемы выступает проблема сбыта (смены собственника) разработанных технологий/изобретений через интернет-аукционы. Его структура должна состоять из следующих основных составляющих (см. рис. 6.1): 1) информационная; 2) экономическая; 3) правовая (юридическая). Реализация всех трех составляющих основана на интенсивном использовании современных информационных технологий. Компьютерная составляющая Инновационного центра должна обеспечивать информационный обмен при подготовке интернет-аукционов и проведение самих интернет-аукционов.

Укрупненная принципиальная схема этапов разработки и трансфера технологий дана на рис. 6.2, а общая модель передачи техно-

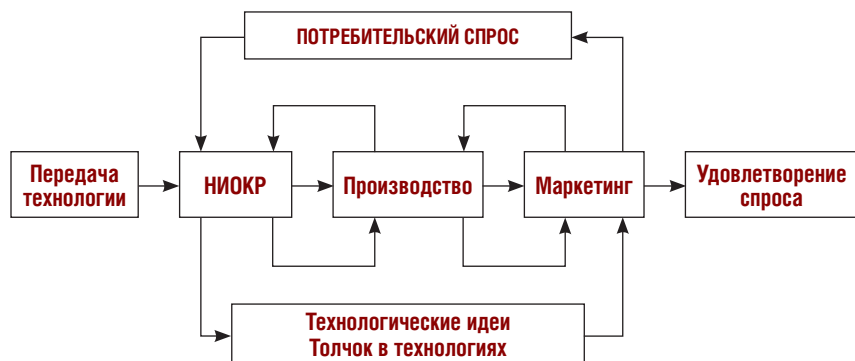


Рис. 6.2. Схема передачи технологий

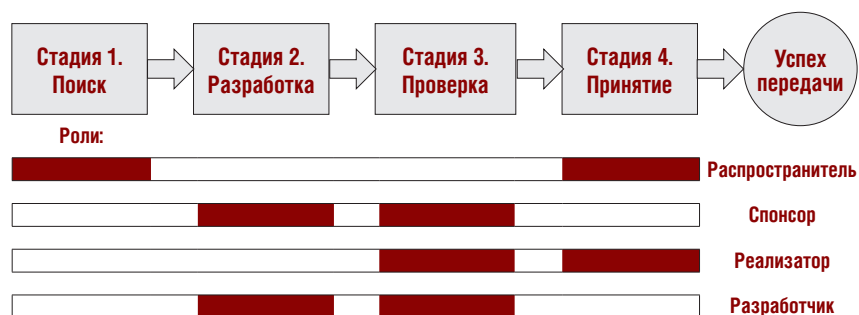


Рис. 6.3. Модель трансфера технологий

логий — на рис. 6.3. Выделены следующие основные стадии. Поиск (создание) технологии — процесс генерации идеи, получения альтернативных концепций и технологий, их анализ и принятие решений с выбором тех, что соответствуют требованиям потребителя.

Разработка — предполагает проведение НИОКР и включает совершенствование, подробную разработку, изготовление образцов по выбранной на первой стадии технологии, конструкторскую и технологическую подготовку производства. Проверка (экспертиза) — разработанная технология подвергается испытаниям, при необходимости — полевым, оценивается экспертами. Внедрение — окончательная доработка, внесение нужных изменений, внедрение технологии пользователем, переход к массовому выпуску.

В этой модели присутствуют четыре основные роли.

Распространитель (заказчик) — знакомит потенциальных разработчиков и пользователей с соответствующими технологиями, кон-

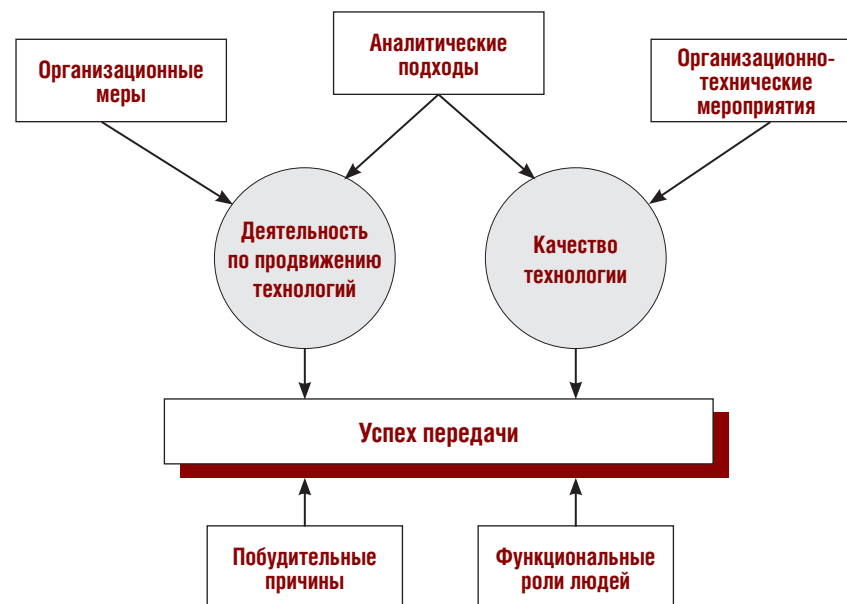


Рис. 6.4. Взаимосвязь групп методов трансфера технологий

сультирует их и т.д. Процесс взаимодействия строится по схемам с обратной связью. Его основная работа — на стадиях поиска и внедрения технологий.

Спонсор (инвестор) — осуществляет организационную и финансовую поддержку деятельности (включая работу распространителей, разработчиков, а также тех, кто занимается внедрением). Его основная работа — на стадиях разработки, проверки (экспертизы) и внедрения.

Разработчик — осуществляет разработку идеи, лабораторные исследования, создание опытных образцов и проведение полевых и иных испытаний результатов НИОКР. Его основная работа — на стадиях разработки и проверки.

Реализатор технологии (специалист по внедрению) — решает вопросы продаж, подготовки потребителей, преодоления различного рода трудностей. Его основная работа — на стадиях экспертизы (проверки) и внедрения.

Для достижения успеха трансфера технологий необходимо выбрать наиболее адекватные методы и приемы для каждой из стадий процесса. Взаимосвязь ключевых методов (по группам) в процессе передачи технологий представлена на рис. 6.4.

6.2. ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ В ВУЗАХ

Большая часть научного потенциала страны сейчас сосредоточена в российских вузах. Квалификация работников остается очень высокой. Поэтому очевидно, что одной из основных возможностей ускорения развития инновационных процессов является сотрудничество промышленных предприятий и организаций других сфер деятельности с вузами на предмет разработки и реализации инновационных проектов. Оно может способствовать решению такой проблемы, как нехватка квалифицированных кадров или отсутствие у персонала предприятия специализированных знаний и навыков, требующихся для разработки (внедрения) инновационного проекта. Такое сотрудничество может осуществляться финансированием научно-технической разработки инновационного проекта в вузе. Партнером со стороны вуза выступает творческий коллектив, который надо рассматривать как малое предприятие, осуществляющее часть своих вспомогательных функций через структуры вуза.

Осуществляя подобное сотрудничество, надо всегда помнить, что инновации часто связаны с большим риском. Чем больше оригинального содержится в результатах инновационного процесса, тем значительнее ожидаемая прибыль и тем выше степень риска при внедрении нового товара или процесса. Главные факторы, на которых сосредотачиваются мероприятия по снижению уровня инновационных рисков: объем и надежность информации об источниках риска; степень контроля над ними. Одним из инструментов подобного контроля является создание и использование методики расчета вероятностей успешной реализации инновационных проектов в вузах и соответствующих рисков. Основная цель данного раздела — описание примерной схемы расчета рисков инновационных проектов в вузах. Эта схема с очевидными изменениями может быть использована для оценки рисков иной природы.

Специфика инновационных проектов в вузах связана с небольшими объемами финансирования и краткими сроками, а больше всего — с рисками, относящимися непосредственно к научно-техническому развитию. Рассмотрим проблему оценивания рисков реализации инновационных проектов в вузах на основе вероятностных экономикоматематических моделей с применением экспертных технологий.

Обычно под инновационным проектом в вузе понимают проект, который опирается на ранее проведенные научно-технические разработки, приведшие к перспективным для коммерческого использования результатам. Предполагается, что коммерческая реализация осуществляется внешним партнером (или партнерами). При этом вуз получает доход от реализации инновационного проекта — либо в виде

процента от прибыли партнера, либо в виде единовременной выплаты (например, при покупке лицензии партнером).

Таким образом, в инновационном проекте участвуют как минимум две организации — вуз (в лице его представителя — малого предприятия) и внешний партнер. Работа внутри вуза часто разбивается на два этапа — 1) собственно научно-исследовательскую работу прикладного характера и 2) разработку технологии выпуска продукции. В деятельности внешнего партнера также можно выделить следующие этапы:

- 1) освоение выпуска продукции;
- 2) переход к массовому выпуску (что предполагает предварительную рекламную кампанию и иную маркетинговую деятельность);
- 3) продажу первых партий продукции;
- 4) первое получение оплаты от покупателей;
- 5) первое поступление средств на расчетный счет вуза (субсчет малого предприятия) и т.д.

Таким образом, для успешного завершения инновационного проекта, как правило, необходим внешний партнер, с деятельностью которого связана своя группа рисков. Разумеется, возможны исключения. Если инновационный проект связан с доведением до коммерческого распространения программного продукта, то вуз (в лице своего представителя — малого предприятия) может взять на себя маркетинг и рекламную кампанию, а также и продажу. Если инновационный проект посвящен развитию внутривузовской сети ЭВМ, то может быть запланировано покрытие расходов за счет источников финансирования тех структур вуза, которые будут пользоваться этой сетью.

Структура и выраженность рисков реализации инновационных проектов в вузах несколько отличаются от таковых для инновационных проектов вообще и тем более от рисков разнообразных инвестиционных проектов. На первое место выходят риски невыполнения работы в соответствии с техническим заданием и невозврата (полного или частичного) средств.

Возможные итоги выполнения инновационной работы можно описать следующим образом:

- а) работа и финансовые обязательства всех партнеров выполнены в полном объеме;
- б) научно-исследовательская часть работы выполнена полностью, но по каким-либо причинам внешний партнер свои обязательства, в том числе финансовые, выполнил не в полном объеме;
- в) научно-исследовательская часть работы выполнена полностью, но коммерческая часть проекта сорвана (внешним партнером), финансовые обязательства не выполнены;

г) научно-исследовательская часть работы не выполнена полностью, но получены существенные научные результаты; для окончания работы требуется некоторое время;

д) научно-исследовательская часть работы не выполнена, но получены некоторые интересные научные результаты; однако планируемый вначале научный результат не будет достигнут в обозримое время;

е) выполнение в вузе инновационной работы сорвано полностью.

При любом из вышеперечисленных исходов существует вероятность осуществления макроэкономического риска, которое может еще более ухудшить результат выполнения инновационного процесса.

Таким образом, только в двух случаях из шести оценка однозначна: итог а) — это полный успех, а итог е) — это полный провал. В остальных случаях — итоги б), в), г), д) — получены некоторые научные результаты, а в случае итога б) — также и некоторые коммерческие результаты. При этом в случае итогов а), б), в) научно-исследовательский коллектив выполнил все, что от него требовалось, хотя «полный успех» имеет место только в одном из этих трех случаев — в зависимости от результатов работы внешнего партнера.

6.3. МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА

Начнем с выделения основных факторов, определяющих риски реализации инновационных проектов в вузах.

Замечание. Как и любое конкретное прикладное исследование, рассматриваемая научно-исследовательская работа проводилась в определенное время и в определенном месте (в 1996 г. в Москве), что наложило отпечаток на выделяемые факторы и их экспертные оценки. Поскольку рассказ о модели имеет методическую (учебную) цель, мы не сочли нужным приводить факторы и их взаимосвязи к положению на 2017 г. Тем более, что, исходя из результатов экспертного прогнозирования, ситуация еще через 10 лет будет существенно иной (по сравнению с нынешней).

Будем исходить из двухступенчатой схемы: сначала работает научно-исследовательский коллектив; затем он передает свои разработки внешнему партнеру, и тот начинает коммерческий этап.

Вероятность того, что научно-исследовательский коллектив полностью выполнит свою работу, зависит от двух групп факторов, определяемых ситуациями соответственно внутри коллектива исполнителей и внутри вуза. Четвертый фактор риска — макроэкономический, то есть ситуация в народном хозяйстве (степень выражен-

ности платежей, инфляции, нерациональной налоговой политики и т.д.).

Таким образом, выделяются четыре основные группы факторов риска. Они связаны:

- с коллективом исполнителей,
- с вузом,
- с внешним партнером,
- с общей экономической обстановкой.

Принимаем, что все четыре фактора независимы между собой (в теоретико-вероятностном смысле). Следовательно, основная формула математической модели расчета рисков реализации инновационных моделей в вузах имеет вид:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4,$$

где P — вероятность «полного успеха», то есть итога а) согласно приведенной выше классификации, при этом риск того, что инновационный проект не будет осуществлен полностью, оценивается вероятностью «отсутствия полного успеха», то есть величиной $(1 - P)$,

P_1 — вероятность того, что ситуация внутри коллектива исполнителей не помешает выполнению инновационного проекта (следовательно, риск коллектива оценивается величиной $1 - P_1$),

P_2 — вероятность того, что ситуация внутри вуза не помешает выполнению инновационного проекта ($1 - P_2$ — риск вуза),

P_3 — вероятность того, что внешний партнер полностью выполнит свою работу, после того, как научно-исследовательский коллектив полностью выполнит свою часть работы ($1 - P_3$ — риск партнера),

P_4 — вероятность того, что ситуация в народном хозяйстве не помешает выполнению инновационного проекта (соответственно, $1 - P_4$ — макроэкономический риск).

Следующий шаг — оценивание четырех перечисленных вероятностей. Будем их приближать с помощью линейных функций, то есть представлять в виде:

$$P_n = 1 - A_{1n}X_{1n} - A_{2n}X_{2n} - \dots - A_{Kn}X_{Kn}, \quad n = 1, 2, 3, 4,$$

где $X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{Kn}$ — факторы (переменные), используемые при вычислении оценки риска типа n ,

$A_{1n}, A_{2n}, \dots, A_{Kn}$ — коэффициенты весомости (важности) этих факторов.

Значения факторов $X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{Kn}$ оценивают эксперты для каждого конкретного инновационного проекта, в то время как значения коэффициентов весомости $A_{1n}, A_{2n}, \dots, A_{Kn}$ задаются одними и теми же

для всех проектов — по результатам специально организованного экспертного опроса.

Члены экспертной комиссии оценивают факторы X_{mn} по качественной шкале:

- 0 — практически невозможное событие (с вероятностью не более 0,01);
- 1 — крайне маловероятное событие (с вероятностью от 0,02 до 0,05);
- 2 — маловероятное событие (вероятность от 0,06 до 0,10);
- 3 — событие с вероятностью, которой нельзя пренебречь (от 0,11 до 0,20);
- 4 — достаточно вероятное событие (вероятность от 0,21 до 0,30);
- 5 — событие с заметной вероятностью (более 0,30).

Согласно теории измерений, итоговая оценка дается как медиана индивидуальных оценок (при четном числе членов экспертной комиссии — как правая медиана).

Поскольку максимально возможный балл — это 5, то сумма всех весовых коэффициентов выбиралась равной $1/5 = 0,2$. Таким образом, если по всем факторам (переменным) экспертами выставлены максимальные баллы, то соответствующая вероятность оценивается как 0, то есть выполнение инновационного проекта признается невозможным.

Для упрощения описания переменные X_{m1} будем ниже обозначать X_m , переменные X_{m2} — как Y_m , вместо X_{m3} будем писать Z_m , а вместо X_{m4} — W_m . При описании числовых значений коэффициентов A_{mn} будем опускать индекс n .

Замечание. Разработка общей схемы модели — результат индивидуального экспертного оценивания. Рекомендация этой схемы для дальнейшей разработки — результат коллективного экспертного исследования.

Построенная аддитивно-мультипликативная модель оценивания риска может быть использована в самых разных областях. Для этого достаточно придать соответствующий смысл используемым переменным (факторам) и их группам.

Обсудим структуризацию вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4 , а затем получим итоговую формулу для оценивания вероятности P (и тем самым риска $(1 - P)$ реализации инновационного проекта в вузе).

Риск коллектива. Начнем с оценивания P_1 — вероятности того, что ситуация внутри коллектива исполнителей не помешает выполнению инновационного проекта. Введем следующие переменные:

X_1 — недооценка сложности научно-технической задачи (включая возможный выбор принципиально неверного направления работ);

X_2 — нехватка времени (из-за неправильного планирования процесса выполнения инновационного проекта, в то время как основное направление работ выбрано правильно);

X_3 — возникшие в ходе выполнения работы проблемы, связанные с научным руководителем темы, в частности, с его длительным отсутствием или сменой (из-за длительной командировки, болезни, смерти, ухода на пенсию, перехода на другую работу и т.д.);

X_4 — возникшие в ходе выполнения работы проблемы, связанные с иными непосредственными участниками работы (кроме руководителя).

В двух последних позициях (факторы X_3 и X_4) причинами невыполнения работы могут быть и недостаточная квалификация руководителя работы либо иных членов научно-исследовательского коллектива.

Экспертный опрос дал значения: $A_1 = 0,02$, $A_2 = 0,08$, $A_3 = 0,07$, $A_4 = 0,03$.

Пример 6.1. Если итоговая оценка экспертов такова: $X_1=3$; $X_2=2$; $X_3=4$; $X_4=1$, то $P_1 = 1 - A_1X_1 - A_2X_2 - A_3X_3 - A_4X_4 = 1 - 0,06 - 0,16 - 0,28 - 0,03 = 0,47$.

В данном случае эксперты достаточно скептически относятся к возможности выполнения работы в срок, причем основная причина скепсиса — в возможном отъезде научного руководителя (риск оценивается как 0,28); вторая заметная причина — возможный недостаток времени (риск 0,16).

Риск вуза. Для оценивания P_2 введем переменные:

Y_1 — организационные изменения в вузе, предпринятые руководством вуза;

Y_2 — внутривузовские экономические проблемы (например, работы будут на какое-то время приостановлены из-за решения руководства вуза (несостоятельного с правовой точки зрения) о направлении средств проекта на оплату труда преподавателей);

Y_3 — отсутствие в вузе соответствующей материальной базы (оборудования, материалов, вычислительной техники, площадей и т.д.).

Экспертный опрос дал: $A_1 = 0,10$; $A_2 = 0,08$; $A_3 = 0,02$.

Пример 6.2. Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы: $Y_1 = 1$; $Y_2 = 4$; $Y_3 = 0$, то $P_2 = 1 - A_1Y_1 - A_2Y_2 - A_3Y_3 = 1 - 0,01 - 0,32 - 0 = 0,67$. По мнению экспертов, для данного проекта и вуза наибольшее отрицательное влияние могут оказать внутривузовские экономические проблемы (риск 0,32).

Риск партнера. Для оценивания P_3 введем переменные:

Z_1 — финансовые проблемы внешнего партнера, связанные с недостатками в работе его сотрудников;

Z_2 — финансовые проблемы внешнего партнера, связанные с деятельностью конкретных государственных органов и частных фирм (например, неплатежи, административные решения);

Z_3 — работу над проектом сорвет изменение поведения возможных потребителей, например, из-за изменения моды или из-за решений соответствующих вышестоящих органов (министерств (ведомств) или регионального руководства), связанных, в частности, с выдачей лицензий, закрытием информации или выбором технической политики;

Z_4 — на возможности выполнения инновационного проекта отрицательно скажутся организационные преобразования у внешнего партнера, в частности смена руководства.

Экспертный опрос дал: $A_1 = 0,03$, $A_2 = 0,06$, $A_3 = 0,06$, $A_4 = 0,05$.

Пример 6.3. Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы: $Z_1 = 3$; $Z_2 = 5$; $Z_3 = 1$; $Z_4 = 4$, то $P_3 = 1 - A_1Z_1 - A_2Z_2 - A_3Z_3 - A_4Z_4 = 1 - 0,09 - 0,30 - 0,06 - 0,20 = 1 - 0,65 = 0,35$.

Эксперты достаточно скептически относятся к возможности успешного выполнения внешним партнером своих обязательств по договору, связанному с коммерческой реализацией разработок, выполненных по инновационному проекту. Основные «подводные камни», по их мнению, это действия конкретных государственных органов (риск 0,30), и нежелательные организационные преобразования (кадровые изменения) у внешнего партнера (риск 0,20).

Макроэкономический риск. Под макроэкономическим риском понимаем риск, определяемый внешними по отношению к системе «вуз — внешний партнер» факторами, прежде всего теми, которые являются общими для всего народного хозяйства. Для оценивания P_4 введем переменные:

W_1 — отсутствие или сокращение номинального финансирования (неплатежи со стороны бюджета);

W_2 — резкое сокращение реального финансирования (в сопоставимых ценах) из-за инфляции;

W_3 — изменение статуса и/или задач вуза или его внешнего партнера (в частности, из-за ликвидации или реорганизации вуза) по решению вышестоящих органов (министерства (ведомства) или регионального руководства);

W_4 — относящиеся к инновационному проекту решения соответствующих вышестоящих органов (министерств (ведомств) или регионального руководства), связанные, например, с закрытием информации или с таким выбором технической политики, который делает ненужным или нецелесообразным выполнение инновационного проекта.

Экспертный опрос дал: $A_1 = 0,10$, $A_2 = 0,05$, $A_3 = 0,03$, $A_4 = 0,02$.

Пример 6.4. Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы: $W_1 = 3$; $W_2 = 4$; $W_3 = 1$; $W_4 = 2$, то $P_4 = 1 - A_1W_1 - A_2W_2 - A_3W_3 - A_4W_4 = 1 - 0,30 - 0,20 - 0,03 - 0,04 = 1 - 0,57 = 0,43$.

Эксперты считают, что общая экономическая ситуация в стране может негативно сказаться на возможности выполнения рассмотренного ими инновационного проекта. Причем наиболее опасаются неплатежей со стороны государства (отсутствия или сокращения перечисления средств для выполнения проекта) и в несколько меньшей мере — уменьшения реального финансирования из-за инфляции (что, возможно, отвлечет членов научно-исследовательского коллектива на побочные заработки).

Итоговые оценки. Сведем вместе полученные результаты. Вероятность успешного выполнения инновационного проекта оценивается по формуле:

$$P = P_1P_2P_3P_4,$$

где:

$$P_1 = 1 - 0,02X_1 - 0,08X_2 - 0,07X_3 - 0,03X_4;$$

$$P_2 = 1 - 0,10Y_1 - 0,08Y_2 - 0,02Y_3;$$

$$P_3 = 1 - 0,03Z_1 - 0,06Z_2 - 0,06Z_3 - 0,05Z_4;$$

$$P_4 = 1 - 0,10W_1 - 0,05W_2 - 0,03W_3 - 0,02W_4.$$

Для данных, приведенных в примерах 6.1—6.4, вероятность того, что научно-исследовательский коллектив в вузе полностью выполнит свою работу, равна:

$$P_1P_2 = 0,47 \times 0,67 = 0,3149,$$

а вероятность успешного осуществления проекта

$$P = P_1P_2P_3P_4 = 0,47 \times 0,67 \times 0,35 \times 0,43 = 0,0473924.$$

Таким образом, имеется лишь примерно 1 шанс из 20, что рассматриваемый инновационный проект будет успешно завершен (в намеченные сроки и с запланированным экономическим эффектом).

В таблице 6.1 приведены результаты расчета вероятностей, связанных с реализацией четырех типовых инновационных проектов. Видно, какое влияние оказывает изменение того или иного фактора на общую величину вероятности выполнения проекта. Выполнение первого проекта практически в одинаковой степени зависит от всех четырех факторов. Низкая вероятность выполнения второго проекта связана с относительно высокими показателями всех четырех видов риска. Вероятность выполнения третьего проекта — наименьшая, что связано с высоким риском внутри коллектива исполнителей и внутри вуза. У четвертого проекта наибольший риск связанный с политической и экономической обстановкой в стране. Вероятность выполнения пятого проекта относительно невысокая, но она выше, чем у второго, третьего и четвертого проектов.

Таблица 6.1

Варианты расчета вероятности реализации инновационного проекта в вузе

| Коэффициент весомости и вероятности | Проект 1 | Проект 2 | Проект 3 | Проект 4 | Проект 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1. Риск для коллектива исполнителей | | | | | |
| A_n | $X_n(1)$ | $X_n(2)$ | $X_n(3)$ | $X_n(4)$ | $X_n(5)$ |
| 0,02 | 0 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 0,08 | 0 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| 0,07 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| 0,03 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0 |
| $P_1 =$ | 0,9 | 0,52 | 0,18 | 0,57 | 0,68 |
| 2. Риск внутри вуза | | | | | |
| A_n | $Y_n(1)$ | $Y_n(2)$ | $Y_n(3)$ | $Y_n(4)$ | $Y_n(5)$ |
| 0,1 | 0 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 0,08 | 1 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| 0,02 | 1 | 3 | 4 | 0 | 2 |
| $P_2 =$ | 0,92 | 0,48 | 0,12 | 0,82 | 0,70 |
| 3. Риск партнера | | | | | |
| A_n | $Z_n(1)$ | $Z_n(2)$ | $Z_n(3)$ | $Z_n(4)$ | $Z_n(5)$ |
| 0,03 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 0,06 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 0,06 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 0,05 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $P_3 =$ | 0,880 | 0,590 | 0,620 | 0,800 | 0,830 |
| 4. Макроэкономический риск | | | | | |
| A_n | $W_n(1)$ | $W_n(2)$ | $W_n(3)$ | $W_n(4)$ | $W_n(5)$ |
| 0,1 | 0 | 3 | 2 | 5 | 2 |
| 0,05 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| 0,03 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 |
| 0,02 | 0 | 2 | 0 | 5 | 1 |
| $P_4 =$ | 0,92 | 0,53 | 0,67 | 0,05 | 0,65 |
| Вероятность выполнения данного проекта | | | | | |
| $P =$ | 0,670 | 0,078 | 0,009 | 0,019 | 0,26 |
| Вероятность выполнения работ без учета риска партнера | | | | | |
| $P_1 P_2 P_4$ | 0,76 | 0,13 | 0,01 | 0,02 | 0,3 |
| Вероятность выполнения работ без учета риска страны | | | | | |
| $P_1 P_2 P_3$ | 0,73 | 0,15 | 0,01 | 0,37 | 0,4 |
| Вероятность выполнения работ без учета риска вуза | | | | | |
| $P_1 P_3 P_4$ | 0,73 | 0,16 | 0,07 | 0,02 | 0,37 |
| Вероятность выполнения работ в вузе | | | | | |
| $P_1 P_2$ | 0,83 | 0,16 | 0,07 | 0,02 | 0,37 |

Выбор инновационных проектов для финансирования целесообразно проводить с учетом описанной выше процедуры вероятностно-статистической (с учетом мнений экспертов) оценки их рисков реализации [10].

Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при создании ракетно-космической техники разработана в статье [102]. Общая теория таких моделей и сводка конкретных прикладных ее вариантов даны в работе [57].

6.4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКОВ

Последствия решений менеджера, экономиста, инженера проявятся в будущем. А будущее неизвестно. Мы вынуждены принимать решения в условиях неопределенности. Мы всегда рискуем, поскольку нельзя исключить возможность нежелательных событий. Но можно сократить вероятность их появления и возможный ущерб. Для этого необходимо спрогнозировать дальнейшее развитие событий, в частности последствия принимаемых решений, выявить риски, оценить их, а затем управлять рисками. Это и есть основные задачи риск-менеджмента. Среди инструментов риск-менеджмента основное место занимают экспертные оценки.

Методы социально-экономического прогнозирования. Кратко рассмотрим различные методы эконометрического прогнозирования (предсказания, экстраполяции), используемые в социально-экономической области. По вопросам прогнозирования имеется большое число публикаций (см., например, [5, 11, 20, 50, 114, 115, 117, 122, 129, 134, 139]). Как часть теории принятия решений существует научная дисциплина «Математические методы прогнозирования». Ее цель — разработка, изучение и применение современных математических методов эконометрического (в частности, статистического, экспертного, комбинированного) прогнозирования социально-экономических явлений и процессов, причем методы должны быть проработаны до уровня, позволяющего их использовать в практической деятельности экономиста, инженера и менеджера. К основным задачам этой дисциплины относятся разработка, изучение и применение современных математико-статистических методов прогнозирования. Наиболее перспективными являются непараметрические методы. Они включают метод наименьших квадратов с оцениванием точности прогноза, адаптивные методы, методы авторегрессии и др.

Не менее необходимо развитие теории и практики экспертных методов прогнозирования. В том числе методов анализа экспертных оценок на основе статистики нечисловых данных. Особенно актуальна разработка методов прогнозирования в условиях риска, а также комбинированных методов прогнозирования с использованием совместно экономико-математических и эконометрических (как статистических, так и экспертных) моделей.

Теоретической основой методов прогнозирования являются математические дисциплины (теория вероятностей и математическая статистика, дискретная математика, исследование операций), а также экономическая теория, экономическая статистика, менеджмент, социология, политология и другие социально-экономические науки.

Как общепринято со времен основоположника научного менеджмента Анри Файоля, прогнозирование и планирование — основа работы менеджера [77, гл.1.1]). Сущность эконометрического прогнозирования состоит в описании и анализе будущего развития, в отличие от планирования, при котором директивным образом задается будущее движение.

Часто полезен промежуточный путь между прогнозированием и планированием — так называемое нормативное прогнозирование. При его применении сначала задается цель (то есть «норма», которой необходимо следовать). Затем разрабатывается система мероприятий, обеспечивающая достижение этой цели, и изучаются характеристики этой системы (объем необходимых ресурсов, в том числе материальных, кадровых, финансовых, временных, возникающие риски и т.п.).

Роль прогнозирования в управлении страной, отраслью, регионом, предприятием очевидна. Необходимо учитывать СТЭЭП-факторы (то есть социальные, технологические, экономические, экологические, политические), факторы конкурентного окружения и научно-технического прогресса. А также прогнозирование расходов и доходов предприятий, населения и общества в целом. Проблемы внедрения и практического использования математических методов эконометрического прогнозирования для управления рисками и принятия решений связаны прежде всего с отсутствием в нашей стране достаточно обширного опыта подобных исследований.

Статистические методы прогнозирования. Наиболее часто используется метод наименьших квадратов при небольшом числе факторов (1—5). Метод наименьших модулей и другие методы экстраполяции применяются реже, хотя их статистические свойства зачастую лучше.

Оценивание точности прогноза — необходимая часть процедуры квалифицированного прогнозирования. При этом обычно использу-

ют вероятностно-статистические модели восстановления зависимости, например, строят наилучший прогноз по методу максимального правдоподобия (при использовании параметрических моделей). Разработаны параметрические (обычно на основе модели нормальных ошибок) и непараметрические оценки точности прогноза и доверительные границы для него (на основе Центральной Предельной Теоремы теории вероятностей). Так, в Институте высоких статистических технологий и эконометрики предложены и изучены методы доверительного оценивания точки наложения (встречи) двух временных рядов и их применения для оценки динамики технического уровня собственной продукции и продукции конкурентов, представленной на мировом рынке.

Применяются также эвристические приемы, не основанные на какой-либо теории: метод скользящих средних, метод экспоненциального сглаживания. Адаптивные методы прогнозирования позволяют оперативно корректировать прогнозы при появлении новых точек

Многомерная регрессия — основной на настоящий момент эконометрический аппарат прогнозирования. Подчеркнем, что нереалистическое предположение о нормальности погрешностей измерений и отклонений от линии (поверхности) регрессии использовать не обязательно. Однако для отказа от предположения нормальности необходимо опереться на иной математический аппарат, основанный на многомерной центральной предельной теореме теории вероятностей и эконометрической технологии линеаризации. Он позволяет проводить точечное и интервальное оценивание параметров, проверять значимость их отличия от 0 в непараметрической постановке, строить доверительные границы для прогноза.

Весьма важна проблема проверки адекватности модели, а также проблема отбора факторов. Дело в том, что априорный список факторов, оказывающих влияние на отклик, обычно весьма обширен, желательно его сократить. Крупное направление современных эконометрических исследований посвящено методам отбора «информативного множества признаков». Однако эта проблема пока еще окончательно не решена. Проявляются необычные эффекты. Так, установлено [92], что обычно используемые статистические оценки степени полинома при росте объемов выборки имеют геометрическое распределение.

Перспективны непараметрические методы оценивания плотности вероятности и их применения для восстановления регрессионной зависимости произвольного вида. Наиболее сильные результаты в этой области получены с помощью подходов статистики нечисловых данных [76, 92].

К современным статистическим методам прогнозирования относятся также модели авторегрессии, модель Бокса-Дженкинса, системы эконометрических уравнений, основанные как на параметрических, так и на непараметрических подходах.

Для установления возможности применения асимптотических результатов при конечных (т.н. малых) объемах выборок полезны компьютерные статистические технологии. Они позволяют строить различные имитационные модели. Отметим полезность методов размножения данных (бутстреп-методов). Системы прогнозирования с интенсивным использованием компьютеров объединяют различные методы прогнозирования в рамках единого автоматизированного рабочего места прогнозиста.

Прогнозирование на основе данных, имеющих нечисловую природу, в частности прогнозирование качественных признаков основано на результатах статистики нечисловых данных. Весьма перспективными для прогнозирования представляются регрессионный анализ на основе интервальных данных, а также регрессионный анализ нечетких данных, разработанный в монографии [63] — первой книге российского автора по нечетким множествам. Общая постановка регрессионного анализа в рамках статистики нечисловых данных и ее частные случаи — дисперсионный анализ и дискриминантный анализ (распознавание образов с учителем) дают единый подход к формально различным методам, традиционно рассматриваемым как принципиально различные. Она полезна при программной реализации современных статистических методов прогнозирования.

Экспертные методы прогнозирования. Необходимость и общее представление о применении экспертных методов прогнозирования при принятии решений на различных уровнях управления — на уровне страны, отрасли, региона, предприятия — вытекают из проведенных выше рассмотрений. Отметим большое практическое значение экспертиз при сравнении и выборе инвестиционных и инновационных проектов, при управлении проектами, экологических экспертиз. Роли *лиц, принимающих решения* (ЛПР), и специалистов (экспертов) в процедурах принятия решений, критерии принятия решений и место экспертных оценок в процедурах принятия решений рассматриваются в экспертологии [8] — научно-практической дисциплине, посвященной методам экспертных оценок. На ее основе формируются конкретные процедуры подготовки и принятия решений с использованием методов экспертных оценок, например процедуры распределения финансирования научно-исследовательских работ (на основе балльных оценок или парных сравнений), технико-экономического анали-

за, кабинетных маркетинговых исследований (противопоставляемых «полевым» выборочным исследованиям), оценки, сравнения и выбора инвестиционных проектов. В качестве примеров конкретных экспертных процедур, широко используемых при прогнозировании, укажем метод Дельфи и метод сценариев.

Экспертные оценки могут быть получены в различных математических формах. Наиболее часто используются количественные или качественные (порядковые, номинальные) признаки, бинарные отношения (ранжировки, разбиения, толерантности), интервалы, нечеткие множества, результаты парных сравнений, тексты и др. Основные понятия (репрезентативной) теории измерений: основные типы шкал, допустимые преобразования, адекватные выводы и др. — важны применительно к экспертному оцениванию. Необходимо использовать средние величины, соответствующие основным шкалам измерения. Применительно к различным видам рейтингов репрезентативная теория измерений позволяет выяснить степень их адекватности прогностической ситуации, предложить наиболее полезные для целей прогнозирования.

Например, анализ рейтингов политиков по степени их влиятельности, публиковавшийся одной из известных центральных газет, показал, что из-за неадекватности используемого математического аппарата лишь первые 10 мест, возможно, имеют некоторое отношение к реальности (они не меняются при переходе к другому способу анализа данных, то есть не зависят от субъективизма членов рабочей группы), остальные — «информационный шум», попытки опираться на них при прогностическом анализе могут привести лишь к ошибкам. Что же касается начального участка рейтинга этой газеты, то он также может быть подвергнут сомнению, но по более глубоким причинам, например связанным с составом экспертной комиссии.

Проблемы применения методов прогнозирования в условиях риска. Многочисленны примеры ситуаций, связанных с социальными, технологическими, экономическими, политическими, экологическими и другими рисками. Именно в таких ситуациях обычно и необходимо прогнозирование. Известны различные виды критериев, используемых в теории принятия решений в условиях неопределенности (риска). Из-за противоречивости решений, получаемых по различным критериям, очевидна необходимость применения оценок экспертов.

В конкретных задачах прогнозирования необходимо провести классификацию рисков, поставить задачу оценивания конкретного риска, провести структуризацию риска, в частности построить деревья причин (в другой терминологии, деревья отказов) и деревья последствий (деревья событий). Центральной задачей является построение

групповых и обобщенных показателей, например показателей конкурентоспособности и качества. Риски необходимо учитывать при прогнозировании экономических последствий принимаемых решений, поведения потребителей и конкурентного окружения, внешнеэкономических условий и макроэкономического развития России, экологического состояния окружающей среды, безопасности технологий, экологической опасности промышленных и иных объектов. Метод сценариев незаменим применительно к анализу технических, экономических и социальных последствий аварий.

Имеется некоторая специфика применения методов прогнозирования в ситуациях, связанных с риском. Велика роль функции потерь и методов ее оценивания, в том числе в экономических терминах. В конкретных областях используют вероятностный анализ безопасности (для атомной энергетики) и другие специальные методы.

Принятие решений и современные компьютерные технологии прогнозирования. Перспективны интерактивные (человеко-машинные) методы прогнозирования с использованием баз эконометрических данных, имитационных (в том числе на основе применения метода Монте-Карло, то есть метода статистических испытаний) и экономико-математических динамических моделей, сочетающих экспертные, статистические и моделирующие блоки. Обратим внимание на сходство и различие методов экспертных оценок и экспертных систем. Можно сказать, что экспертная система моделирует поведение эксперта путем формализации его знаний по специальной технологии. Но интуицию «живого эксперта» нельзя заложить в ЭВМ, а при формализации мнений эксперта (фактически — при его допросе) наряду с уточнением одних его представлений происходит огрубление других. Другими словами, при использовании экспертных оценок непосредственно обращаются к опыту и интуиции высококвалифицированных специалистов, а при применении экспертных систем имеют дело с компьютерными алгоритмами расчетов и выводов, при создании которых когда-то давно привлекались эксперты как источник данных и типовых заключений.

Обратим внимание на возможность использования в прогнозировании производственных функций, статистически описывающих связь выпуска с факторами производства, на различные способы учета научно-технического прогресса, в частности на основе анализа трендов и с помощью экспертного выявления точек роста. Примеры экономических прогнозов всех видов имеются в литературе. К настоящему времени разработаны компьютерные системы и программные средства комбинированных методов прогнозирования.

Основные идеи технологии сценарных экспертных прогнозов. Социально-экономическое прогнозирование, как и любое прогнозирование вообще, может быть успешным лишь при некоторой стабильности условий. Однако решения органов власти, отдельных лиц, иные события меняют условия, и события развиваются по-иному, чем ранее предполагалось. Объективно имеются точки выбора (фуркации), после которых рассматриваемое прогнозистами развитие может пойти по одному из нескольких возможных путей (эти пути и называют обычно сценариями). Выбор может делаться на разных уровнях — конкретной личностью (перейти на другую работу или остаться), менеджером (выпускать ту или иную марку продукции), конкурентами (сотрудничество или борьба), властными структурами (выбор той или иной системы налогообложения), населением страны (выбор президента), «международным сообществом» (вводить или нет санкции против России).

Рассмотрим примеры.

Пример 6.5. Вполне очевидно, что после первого тура президентских выборов 1996 г. о дальнейшем развитии социально-экономических событий можно было говорить лишь в терминах сценариев: если победит Б.Н. Ельцин, то будет то-то и то-то, если победит Г.А. Зюганов, то события пойдут так-то и так-то.

Пример 6.6. Работа [86] имела целью прогноз динамики валового внутреннего продукта (ВВП) на 9 лет (1999–2007). При ее проведении было ясно, что за это время произойдут различные политические события, в частности по крайней мере два цикла парламентских и президентских выборов (при условии сохранения нынешней политической структуры), результаты которых нельзя предсказать однозначно. Поэтому прогноз динамики ВВП мог быть сделан лишь по отдельности для каждого сценария из некоторой гаммы, охватывающей возможные пути социально-экономической динамики России.

Пример 6.7. В работе [60] на основе экспертных методов с использованием сценарного метода прогнозируется развитие социально-экономической ситуации в России до 2012 г., а в работе [115] — до 2078 г.

Пример 6.8. Метод сценариев необходим не только при социально-экономическом прогнозировании. Например, при разработке методологического, программного и информационного обеспечения анализа риска химико-технологических проектов необходимо составить полный каталог сценариев аварий, связанных с утечками и выбросами токсических химических веществ. Каждый из таких сценариев описывает аварию своего типа, со своим индивидуальным происхождением, развитием, техническими, экономическими, медицинскими и социальными последствиями, возможностями предупреждения [49].

Для построения исчерпывающего, но обозримого набора сценариев необходимо предварительно проанализировать динамику социально-экономического развития интересующего нас экономического агента и его окружения. Корни будущего — в настоящем и прошлом, причем зачастую — в весьма далеком прошлом. Кроме макроэкономических и микроэкономических характеристик, известных лишь с погрешностями, необходимо учитывать состояние и динамику отечественного массового сознания, политических, в том числе внешнеполитических реалий, поскольку на обычно рассматриваемом интервале времени (до 10 лет) экономика зачастую следует за политикой, а не наоборот.

Так, к началу 1985 г. экономика СССР находилась в достаточно стабильном состоянии с ежегодным ростом в среднем на 3–5%. Если бы не было «перестройки» и «реформ», развитие продолжалось бы в прежних условиях. Тогда к концу тысячелетия ВВП СССР увеличился бы не менее чем на 50% и составил 150% от уровня 1985 г. Из-за «перестройки» и «реформ» ВВП России к 1998 г. упал примерно в 2 раза, то есть составил около 50% по сравнению с 1985 г. (для РСФСР). Следовательно, в 3 раза меньше, чем можно было бы ожидать из чисто экономических причин при сохранении стабильных условий 1985 г. С 1999 г. по 2008 г. ВВП России растет, к 2009 г. уровень 1990 г. достигнут, но затем из-за экономического кризиса ВВП пошел вниз. Потом вверх, затем снова вниз. По всем остальным макроэкономическим показателям (объем промышленного производства, инвестиции в основные фонды) 1990 г. остается недостижимой вершиной для народного хозяйства РФ.

Часто при разработке бизнес-планов инвестиционных проектов используют упрощенный подход к прогнозированию методом сценариев. А именно, формулируют три сценария — оптимистический, вероятный и пессимистический. При этом для каждого из сценариев достаточно произвольно выбирают значения параметров, описывающих производственно-экономическую ситуацию (по-английски — *case*). Цель такого подхода — рассчитать интервалы разброса для характеристик и «коридоры» для временных рядов, интересующих исследователя (и заказчика исследования). Например, прогнозируют финансовый поток (по-английски — *cash flow*) и чистую текущую стоимость (по-английски — *net present value* или NPV) инвестиционного проекта.

Такой упрощенный подход не может дать максимального или минимального значения характеристики, он дает лишь представление о порядке количественной меры разброса. Однако его развитие приводит к байесовской постановке в теории принятия решений. Например, если сценарий описывается элементом конечномерного евклидо-

ва пространства, то любое вероятностное распределение на множестве исходных параметров преобразуется в распределение интересующих исследователя характеристик. Расчеты могут быть проведены с помощью современных информационных технологий методами статистических испытаний. Надо в соответствии с заданным распределением на множестве параметров выбирать с помощью датчика псевдослучайных чисел конкретный вектор параметров и рассчитывать для него итоговые характеристики. В результате получится эмпирическое распределение на множестве итоговых характеристик, которое можно разными способами анализировать, находить оценку математического ожидания, разброса и др. Остается только неясным, как задавать распределение на множестве параметров. Естественно, для этого можно и нужно использовать экспертов.

Прогнозирование в рамках каждого конкретного сценария с целью получения ответов на интересующие исследователя вопросы также осуществляется в соответствии с описанной выше методологией прогнозирования. При стабильных условиях могут быть применены статистические методы прогнозирования временных рядов. Однако этому обычно предшествует анализ с помощью экспертов, причем зачастую прогнозирование на словесном уровне является достаточным (для получения интересующих исследователя и ЛПР выводов) и не требующим количественного уточнения.

Как известно, при принятии решений на основе анализа ситуации, в том числе результатов прогнозных исследований, можно исходить из различных критериев. Так, можно ориентироваться на то, что ситуация сложится наихудшим, или наилучшим, или средним (в каком-либо смысле) образом. Можно попытаться наметить мероприятия, обеспечивающие минимально допустимые полезные результаты при любом варианте развития ситуации, и т.д.

В статье [40] методы прогнозирования рассмотрены как важная теоретическая и прикладная область теории принятия решений.

6.5. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ РИСКОВ

Будущее нам неизвестно. А потому неизвестны и будущие доходы и расходы, мы можем лишь прогнозировать их с той или иной степенью уверенности. Как описывать неопределенность будущего? Чем мы рискуем и что вообще понимать под «риском»? Как отражается неопределенность будущего на финансовых потоках (потоках платежей и поступлений), их характеристиках и выводах об эффективности управля-

ющих воздействий на те или иные экономические процессы и других решениях? Как уменьшить возможные потери и защититься от рисков?

Риск — это нежелательная возможность. Эта возможность может реализоваться в будущем. Поэтому методы анализа и управления рисками базируются на методах прогнозирования будущего развития.

Чтобы управлять рисками, надо сначала знать о существующих рисках. Поскольку на деятельность любой организации непосредственно либо потенциально влияют риски различной природы, необходима классификация рисков. Возможно, для различных целей понадобятся различные классификации, основанные на различных методологических принципах.

Для построения такой классификации необходим какой-либо упорядочивающий принцип. Возьмем за основу движение от частного к общему. Тогда естественно выделить:

- личные и семейные риски, относящиеся к судьбе отдельного человека и его семьи;
- производственные риски (внутренние риски), связанные непосредственно с деятельностью предприятия;
- коммерческие риски, вызванные неполной предсказуемостью динамики рынка, то есть действий потребителей и конкурентов;
- финансовые риски, определяемые макроэкономической ситуацией;
- риски, возникающие на уровне государства и Земли в целом.

Затем необходимо изучить степень их влияния на показатели эффективности деятельности организации с целью выделения наиболее значимых.

После этого целесообразно изучить различные способы оценки финансовых и иных рисков в случаях, когда они моделируются с помощью тех или иных математических структур. В частности, распространено моделирование рисков с помощью вероятностей и случайных величин. Перспективной представляется разработка методов описания рисков с помощью теории нечетких множеств, лингвистических переменных, качественных признаков, интервальных математических и эконометрических моделей и др. Существенно, что описание может быть многомерным. Например, каждая координата может соответствовать своему виду воздействия (нарушения, происшествия) и описываться количественным либо качественным признаком. Тогда дополнительно возникает задача агрегирования (сведения вместе) показателей риска. Для агрегирования могут быть использованы различные методы, разработанные в теории оценки технического уровня и в теории экспертных оценок.

Следующий этап — разработка методологии применения различных методов управления рисками с использованием экспертных оценок, современных методов прогнозирования, эконометрических и экономико-математических моделей с целью повышения эффективности деятельности организации в условиях риска. При этом необходимо научиться практически решать проблему многокритериальности (согласования оценок рисков, полученных по различным основаниям, с целью эффективного управления риском).

К настоящему времени накоплена огромная литература по вопросам риска, как общая (например, теория статистического риска), так и по отдельным вопросам — по экологическим рискам, статистическим методам обеспечения качества, финансовым рискам и др.

Производственные риски. К ним относятся риски, связанные с выпуском дефектной продукции. Хорошо известно, что при массовом производстве невозможно обеспечить выпуск продукции без дефектов. Поэтому действуют отделы технического контроля, службы (бюро) качества и другие подразделения, осуществляющие контроль качества продукции. Известно, что в машиностроении стоимость контрольных операций составляет в среднем около 10% от стоимости продукции. Часть потерь от риска компенсируется службами технического обслуживания продукции, уже находящейся у потребителей. Постоянно используемыми терминами в этой области являются «риск поставщика» и «риск потребителя». Вопросам управления качеством посвящена обширная литература. Одна из важных групп показателей качества — характеристики надежности.

Другой вид производственных рисков связан с осуществлением действующих технологических процессов. Речь идет об авариях различной степени тяжести, от незначительных нарушений технологических процессов до катастроф с человеческими жертвами. Здесь целесообразно обратить внимание на экологические риски, в частности связанные с аварийными сбросами в реки технологических жидкостей, выбросами в атмосферу газов и взвешенных частиц и др. За подобные действия предприятия обязаны платить штрафы согласно предписаниям экологических органов.

Отметим риски, относящиеся к проектируемым продукции или технологическим процессам. Они могут быть связаны с ошибками разработчиков или физической невозможностью осуществления того или иного процесса. Так, в течение всей второй половины XX в. физики постоянно говорили о появлении в ближайшее время неиссякаемого источника энергии на основе преобразования управляемого термоядерного синтеза. Эта пропаганда, несомненно, сдерживала фи-

нансирование и развитие ресурсосберегающих технологий. Еще в начале XX в. Д.И. Менделеев писал, что сжигать нефть — это то же самое, что топить печь ассигнациями. Тем не менее и сейчас нефть используют как топливо, разведанных запасов остается все меньше. Излишний оптимизм физиков нам всем еще дорого обойдется.

Среди производственных рисков есть и социальные, связанные с теми или иными конфликтами. Здесь надо выделить конфликты между службами (отделами, цехами), с которыми можно бороться, оптимизируя организационную структуру предприятия. Далее — различного происхождения конфликты между менеджерами высшего звена; конфликты между профсоюзами и администрацией по поводу заработной платы или условий труда, и др. Современные методы управления персоналом позволяют заранее спрогнозировать многие из таких конфликтов и предложить пути их разрешения.

Коммерческие риски. Речь идет о рисках, связанных с неопределенностью будущей рыночной ситуации в стране. В частности, о будущих действиях поставщиков в связи с меняющимися предпочтениями потребителей. Напомним, например, о быстрых изменениях на рынке вычислительной техники в связи с появлением персональных компьютеров. Мода в той или иной степени отражается на поведении потребителей во многих областях.

Весьма существенны риски, связанные с деятельностью партнеров организации, — участников экономической жизни, в частности с их деловой активностью, финансовым положением, отношением к соблюдению обязательств (в том числе их законопослушностью как налогоплательщиков). Особенно надо отметить роль конкурентного окружения, от действий которого зависит многое в судьбе конкретного предприятия. В частности, важны информационные риски, связанные с промышленным шпионажем и возможностями проникновения конкурентов в коммерческие тайны и иного воздействия на внутренние дела организации, в частности через компьютерные сети типа Интернет.

К этому же типу можно отнести риски, связанные с социальными и административными факторами в конкретных регионах, с взаимоотношениями рассматриваемой организации с органами местной и региональной власти, как официальными, так и криминальными.

Финансовые риски. Отметим риски, связанные с колебаниями общего уровня цен на товары и услуги (динамикой инфляции), ставки рефинансирования Центрального банка, норм банковских процентов по кредитам и депозитам, валютных курсов и других макроэкономических показателей, в том числе котировок государственных и частных (корпоративных) ценных бумаг. Часть этих рисков носит объективный,

а часть — чисто спекулятивный характер. К этому же типу можно отнести риски, связанные с нестабильностью законодательства и текущей экономической политики (то есть с деятельностью руководства страны, министерств и ведомств). Дополнительные проблемы создает множественность нормативно-правовых актов, регулирующих хозяйственно-экономическую деятельность организации (порядка 104, если считать не только федеральные нормативно-правовые акты, но и нормативно-правовые акты субъектов Федерации, например г. Москвы), зачастую противоречащих друг другу, что вызывает необходимость в участии в работе организации юристов, в том числе в судебных процессах.

Риски, возникающие на уровне государства и Земли в целом (глобальные риски). К этому типу отнесем риски, связанные с политической ситуацией, действиями партий, профсоюзов, экологических и других организаций в масштабе страны. Типичным примером являются риски, связанные с заметным изменением курса страны в результате тех или иных выборов. Другой пример — российский «дефолт» (отказ государства от ряда финансовых обязательств), начавшийся в августе 1998 г. и непосредственно вызванный решением трех чиновников. Большое значение имеют риски, связанные с социальной борьбой («рельсовая война», забастовки, массовые столкновения, терроризм и др.).

Внешнеэкономические риски, например связанные с динамикой цены на нефть, крупномасштабными зарубежными финансовыми (в Юго-Восточной Азии) или военными (Югославия, Ирак, Ливия, Украина, Сирия) кризисами и т.д., могут оказать существенное воздействие на рассматриваемую организацию (предприятие).

Большое число рисков связано с природными явлениями. Их можно объединить под именем «экологические». К ним относятся, в частности, риски, связанные с неопределенностью ряда природных явлений. Типичным примером является погода, от которой зависят урожайность (а потому и цены на сельскохозяйственные товары), расходы на отопление и уборку улиц, доходы от туризма и др.

Обратим внимание на риски, связанные с *недостаточными знаниями о природе* (например, нам неизвестен точный объем полезных ископаемых в том или ином месторождении, а потому мы не можем точно предсказать развитие добывающей промышленности и объем налоговых поступлений от ее предприятий). Нельзя забывать о рисках экологических бедствий и катастроф, типа ураганов, смерчей, землетрясений, цунами, селей и др.

Каждый из перечисленных выше видов рисков может быть структурирован далее. Так, имеются крупные развернутые разработки по

анализу рисков технологических аварий, в частности на химических производствах и на атомных электростанциях [49]. Ясно, что аварии типа Чернобыльской существенно влияют на значения СТЭЭП-факторов (принятое сокращение для комплекса социальных, технологических, экономических, экологических и политических факторов, действующих на организацию) и тем самым на поступления и выплаты из бюджета как на местном, так и на федеральном уровнях (что существенно, если «организация» — это муниципальный или государственный орган власти или его подразделение типа налоговой инспекции).

Многообразие рисков посвящена статья [65].

6.6. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Подходы к учету неопределенности при описании рисков. В теории принятия решений в настоящее время при компьютерном и математическом моделировании для описания неопределенностей чаще всего используют вероятностно-статистические методы (прежде всего методы статистики нечисловых данных, в том числе интервальной статистики и интервальной математики). Полезны методы теории нечеткости и методы теории конфликтов (теории игр). Математический инструментарий применяется в имитационных, эконометрических, экономико-математических моделях, реализованных обычно в виде программных продуктов.

Некоторые виды неопределенностей связаны с безразличными к организации силами — природными (погодные условия) или общественными (смена правительства). Если явление достаточно часто повторяется, то его естественно описывать в вероятностных терминах. Так, прогноз урожайности зерновых вполне естественно вести в вероятностных терминах. Если же событие единично, то вероятностное описание вызывает внутренний протест, поскольку частотная интерпретация вероятности невозможна. Так, для описания неопределенности, связанной с исходами выборов или со сменой правительства, лучше использовать методы теории нечеткости и интервальной математики (интервал — удобный частный случай описания нечеткого множества). Наконец, если неопределенность связана с активными действиями соперников или партнеров, целесообразно применять методы анализа конфликтных ситуаций, то есть методы теории игр, прежде всего антагонистических игр, но иногда полезны и более новые методы кооперативных игр, нацеленных на получение устойчивого компромисса.

Подходы к оцениванию рисков. Понятие «риск» многогранно. Например, при использовании статистических методов управления качеством продукции риски (точнее, оценки рисков) — это вероятности некоторых событий. В статистическом приемочном контроле «риск поставщика» — это вероятность забракования партии продукции хорошего качества, а «риск потребителя» — приемки «плохой» партии. При статистическом регулировании технологических процессов рассматривают риск незамеченной разладки и риск излишней наладки.

Тогда риск моделируется вероятностью, оценка риска — это оценка вероятности, точечная или интервальная, по статистическим данным или экспертная. В таком случае для управления риском задают ограничения на вероятности нежелательных событий.

Неопределенность ущерба, обусловленного риском, моделируют разными способами: с помощью вероятностно-статистических моделей; теории нечеткости; интервальной математики. Иногда под уменьшением риска понимают уменьшение дисперсии случайной величины, поскольку при этом уменьшается неопределенность. В теории принятия решений риск — это плата за принятие решения, отличного от оптимального, он обычно выражается как математическое ожидание. В экономике плата измеряется обычно в денежных единицах, то есть в виде финансового потока (потока платежей и поступлений) в условиях неопределенности.

Методы математического моделирования позволяют предложить и изучить разнообразные методы оценки риска. Широко применяются два вида методов — статистические, основанные на использовании эмпирических данных, и экспертные, опирающиеся на мнения и intuition специалистов.

Чтобы продемонстрировать сложность проблемы оценивания риска и различные существующие подходы, рассмотрим простейший случай. Пусть неопределенность носит вероятностный характер, а потери описываются одномерной случайной величиной (а не случайным вектором и не случайным процессом). Другими словами, ущерб адекватно описывается одним числом, а величина этого числа зависит от случая.

Итак, пусть величина порожденного риском ущерба моделируется случайной величиной X (в смысле теории вероятностей). Как известно, случайная величина описывается функцией распределения

$$F(x) = P(X < x),$$

где x — действительное число (то есть, как говорят и пишут математики, любой элемент действительной прямой, традиционно обозначает-

мой R^1). Поскольку X обычно интерпретируется как величина ущерба, то X — неотрицательная случайная величина.

В зависимости от предположений о свойствах функции распределения $F(x)$ вероятностные модели риска делятся на *параметрические* и *непараметрические*. В первом случае предполагается, что функция распределения входит в одно из известных семейств распределений — нормальных (то есть гауссовских), экспоненциальных или иных. Однако обычно подобное предположение является малообоснованным — реальные данные не хотят «втискиваться» в заранее заданное семейство. Тогда необходимо применять *непараметрические* статистические методы, не предполагающие, что распределение ущерба взято из того или иного популярного среди математиков семейства. При использовании *непараметрических* статистических методов обычно принимают лишь, что функция распределения $F(x)$ является непрерывной функцией числового аргумента x .

Обсудим два распространенных заблуждения.

Во-первых, часто говорят, что поскольку величина ущерба зависит от многих причин, то она должна иметь т.н. *нормальное распределение*. Это неверно. Все зависит от способа взаимодействия причин. Если причины действуют аддитивно, то, действительно, в силу Центральной Предельной Теоремы теории вероятностей есть основания использовать *нормальное (гауссово) распределение*. Если же причины действуют мультипликативно, то в силу той же Центральной Предельной Теоремы теории вероятностей следует приближать распределение величины ущерба X с помощью *логарифмически нормального распределения*. Если же основное влияние оказывает «слабое звено» (где тонко, там и рвется), то согласно теоремам, доказанным академиком Б.В. Гнеденко, следует приближать распределение величины ущерба X с помощью распределения из семейства Вейбулла-Гнеденко. К сожалению, в конкретных практических случаях различить эти варианты обычно не удается.

Во-вторых, неверно традиционное представление о том, что *реальные погрешности измерения нормально распределены*. Проведенный многими специалистами тщательный анализ погрешностей реальных наблюдений показал, что их распределение в подавляющем большинстве случаев *отличается* от гауссова. Сводка этих исследований приведена в работах [76, 92]. Среди специалистов распространено такое шуточное утверждение: «Прикладники обычно думают, что математики доказали, что погрешности распределены нормально, а математики считают, что прикладники установили это экспериментально». И те, и другие ошибаются. К сожалению, в настоящее время в управленческой, эко-

логической и экономической литературе имеется масса ошибочных утверждений. Существенная часть ошибок относится к использованию математических методов. Особенно это касается *статистики* и *эконометрики*. Причины появления ошибок разнообразны. Некоторые из них подробно обсуждаются в учебнике [92] и статье [74].

Рассмотрим ситуацию, когда возможная величина ущерба, связанного с риском, описывается функцией распределения $F(x) = P(X < x)$. Обычно стараются перейти от функции, описываемой (с точки зрения математики) бесконечно большим числом параметров, к небольшому числу числовых параметров, лучше всего к одному. Для положительной случайной величины (величины ущерба) часто рассматривают такие ее характеристики, как:

- математическое ожидание;
- медиана и, более общо, квантили, то есть значения $x = x(a)$, при которых функция распределения достигает определенного значения a ; другими словами, значение квантили $x = x(a)$ находится из уравнения $F(x) = a$;
- дисперсия (часто обозначаемая как σ^2 — «сигма-квадрат»);
- среднее квадратическое отклонение (квадратный корень из дисперсии, то есть σ — «сигма»);
- коэффициент вариации (среднее квадратическое отклонение, деленное на математическое ожидание);
- линейная комбинация математического ожидания и среднего квадратического отклонения (например, типично желание считать, что возможные значения ущерба расположены в таком интервале: *математическое ожидание плюс-минус три сигма*);
- математическое ожидание функции потерь, и т.д.

Этот перечень, очевидно, может быть продолжен.

Тогда задача оценки ущерба может пониматься как задача оценки той или иной из перечисленных характеристик. Чаще всего оценку проводят по *эмпирическим данным* (по выборке величин ущербов, соответствующих происшедшим ранее аналогичным случаям). При отсутствии эмпирического материала остается опираться на *экспертные оценки*, которым посвящена значительная часть следующей главы. Наиболее обоснованным является *модельно-расчетный метод*, опирающийся на модели управленческой, экономической, социально-психологической, эколого-экономической ситуации, позволяющие рассчитать характеристики ущерба.

Характеристик случайного ущерба имеется много. Выше перечислено 7 видов, причем некоторые из них — второй, шестой и седьмой — содержат бесконечно много конкретных характеристик. Нельзя огра-

ничиваться только средним ущербом, под которым обычно понимают математическое ожидание, хотя медиана ущерба не меньше соответствует этому термину. Весьма важны верхние границы для ущерба, то есть квантили порядка a , где a близко к 1, например, $a = 0,999999$. При этом с вероятностью, не превосходящей $0,000001$, реальный ущерб будет больше $x(0,999999)$ — квантиля порядка $0,999999$. Сложные проблемы состоят в обоснованном вычислении границы $x(0,999999)$, их мы не будем здесь касаться.

Наиболее распространенная оценка риска — это произведение $pM(X)$ вероятности p рискового события (например, пожара) на математическое ожидание $M(X)$ случайного ущерба.

Что это такое — минимизация риска? Из предыдущих рассуждений следует, что минимизация риска может, например, состоять:

1) в минимизации математического ожидания (ожидаемых потерь);

2) в минимизации квантиля распределения (например, медианы функции распределения потерь или квантиля порядка $0,99$, выше которого располагаются большие потери, встречающиеся крайне редко — в 1 случае из 100);

3) в минимизации дисперсии (то есть показателя разброса возможных значений потерь);

4) в минимизации суммы математического ожидания и утроенного среднего квадратического отклонения (на основе известного «правила трех сигм»), или иной линейной комбинации математического ожидания и среднего квадратического отклонения. Этот подход используют в случае близости распределения потерь к нормальному как комбинацию подходов, нацеленных на минимизацию средних потерь и разброса возможных значений потерь;

5) в максимизации математического ожидания функции полезности (в случае, когда полезность денежной единицы меняется в зависимости от общей располагаемой суммы, как предполагается в микроэкономике [105], в частности когда необходимо исключить возможность разорения экономического агента), и т.д.

Перечень может быть продолжен. Например, не использована такая характеристика случайного ущерба, как коэффициент вариации. Однако целью изложения не является построение всеобъемлющей системы постановок задач минимизации риска, поэтому ограничимся сказанным.

Обсудим пять перечисленных выше постановок. Первая из них — минимизация средних потерь — представляется вполне естественной, если все возможные потери малы по сравнению с ресурсами пред-

приятия. В противном случае первый подход неразумен. Рассмотрим условный пример. У человека имеется 10 000 руб.. Ему предлагается подбросить монету. Если выпадает «орел», то он получает 50 000 руб.. Если же выпадает «цифра», он должен уплатить 20 000 руб.. Стоит ли данному человеку участвовать в описанном пари? Если подсчитать математическое ожидание дохода, то, поскольку каждая сторона монеты имеет одну и ту же вероятность выпасть, равную $0,5$, оно равно $50000 \times 0,5 + (-20000) \times 0,5 = 15 000$. Казалось бы, пари весьма выгодно. Однако большинство людей на него не пойдет, поскольку с вероятностью $0,5$ они лишатся всего своего достояния и останутся должны 10 000 руб., другими словами, разорятся. Здесь проявляется психологическая оценка ценности рубля, зависящая от общей имеющейся суммы — 10 000 руб. для человека с обычным доходом значит гораздо больше, чем те же 10 000 руб. для миллиардера.

Второй подход нацелен как раз на минимизацию больших потерь, на защиту от разорения. Другое его применение — исключение катастрофических аварий типа Чернобыльской. При втором подходе средние потери могут увеличиться (по сравнению с первым), зато максимальные будут контролироваться.

Третий подход нацелен на минимизацию разброса окончательных результатов. Средние потери при этом могут быть выше, чем при первом, но того, кто принимает решение, это не волнует — ему нужна максимальная определенность будущего, пусть даже ценой повышенных затрат.

Четвертый подход сочетает в себе первый и третий, хотя и довольно примитивным образом. Проблема ведь в том, что задача управления риском в рассматриваемом случае — это по крайней мере двухкритериальная задача. Желательно средние потери снизить (другими словами, математическое ожидание доходов повысить), и одновременно уменьшить показатель неопределенности — дисперсию. Хорошо известны проблемы, возникающие при многокритериальной оптимизации.

Наиболее продвинутый подход — пятый. Но для его применения необходимо построить функцию полезности. Это — большая самостоятельная задача. Обычно ее решают с помощью специально организованного эконометрического исследования.

Если неопределенность носит интервальный характер, то есть описывается интервалами, то естественно применить методы статистики интервальных данных (как части интервальной математики), рассчитывать минимальный и максимальный возможные доходы и потери и т.д.

Разработаны различные способы уменьшения экономических рисков, связанные с выбором стратегий поведения, в частности ди-

версификацией, страхованием и др. Причем эти подходы относятся не только к отдельным организациям. Так, применительно к системам налогообложения диверсификация означает использование не одного, а системы налогов, чтобы нейтрализовать действия налогоплательщиков, нацеленные на уменьшение своих налоговых платежей. Однако динамика реальных экономических систем такова, что любые формальные модели дают в лучшем случае только качественную картину. Например, не существует математических моделей, позволяющих достаточно точно спрогнозировать инфляцию вообще и даже реакцию экономики на одноразовое решение типа либерализации цен.

Необходимость применения экспертных оценок при оценке и управлении рисками. Из сказанного выше вытекает, что разнообразные формальные методы оценки рисков и управления ими во многих случаях (реально во всех нетривиальных ситуациях) не могут дать однозначных рекомендаций. В конце процесса принятия решения — всегда человек, менеджер, на котором лежит ответственность за принятое решение. Поэтому процедуры экспертного оценивания естественно применять на всех этапах анализа рисков рассматриваемого организацией проекта. При этом нецелесообразно полностью отказываться от использования формально-экономических методов, например основанных на вычислении чистых текущих потерь и других характеристик. Использование соответствующих программных продуктов полезно для принятия обоснованных решений. Однако на основные вопросы типа: «Достаточно ли высоки доходы, чтобы оправдать риск?», или «Что лучше — быстро, но мало или долго, но много» ответить могут только менеджеры с помощью экспертов. Поэтому система поддержки принятия решений в организации должна сочетать формально-экономические и экспертные процедуры.

Разработка системы поддержки принятия решений, нацеленной на оценивание рисков и управление ими, — непростое дело. Укажем несколько проблем, связанных с подобной работой. Совершенно ясно, что система должна быть насыщена конкретными численными данными об экономическом состоянии региона, страны, возможно и мира в целом. Добыть такие данные нелегко, в частности из-за того, что сводки Росстата (ранее — Госкомстата РФ) искажены (подробнее о состоянии теории и практики статистики в России см. главу 1 в учебнике [92] и статью [74]). В частности, Институт высоких статистических технологий и эконометрики занялся изучением инфляции именно потому, что наши данные по этому показателю превышали данные Госкомстата РФ примерно в 2 раза (см. главу 7 в [92]).

Зарубежные источники также содержат неточности. Так, при составлении балансовых соотношений для макроэкономических показателей по данным [42] выяснилось, что государство должно иметь дополнительный источник доходов в несколько сотен миллиардов долларов, а доходы бизнеса имеют излишек в 30 миллиардов долларов. Другими словами, популярное учебное пособие [42] содержит данные, не согласующиеся друг с другом (подробнее см. [76, гл.10]).

Подходы к управлению рисками. При оценке, анализе и управлении рисками могут оказаться полезными известные публикации по методам учета финансового риска [3, 12, 104, 132, 133]. При использовании широкого арсенала статистических методов необходимо учитывать особенности их развития в России и СССР, наложившие свой отпечаток на современное состояние в области кадров и литературных источников.

Чтобы управлять, надо знать цель управления и иметь возможность влиять на те характеристики риска, которые определяют степень достижения цели.

Обычно можно выделить множество допустимых управляющих воздействий, описываемое с помощью соответствующего множества параметров управления. Тогда указанная выше возможность влиять на те характеристики риска, которые определяют степень достижения цели, формализуется как выбор значения управляющего параметра. При этом управляющий параметр может быть числом, вектором, быть элементом конечного множества или иметь более сложную математическую природу.

Основная проблема — корректная формулировка цели управления рисками. Поскольку существует целый спектр различных характеристик риска (например, если потери от риска моделируются случайной величиной), то оптимизация управления риском сводится к решению задачи многокритериальной оптимизации. Например, естественной является задача одновременной минимизации среднего ущерба (математического ожидания ущерба) и разброса ущерба (дисперсии ущерба).

Страхование и диверсификация — распространенные методы уменьшения неопределенности, присущей рискам, за счет повышения среднего уровня затрат. Выплата страховых взносов повышает затраты, но уменьшает неопределенность будущего. Если страховая компания полностью возмещает ущерб при осуществлении страхового случая, то неопределенность будущего полностью исчезает. При диверсификации хозяйственной деятельности упущенная выгода возникает из-за того, что средства вкладываются не только в самый выгодный (и самый рискованный) проект, но и в другие проекты. Если же

нежелательные возможности осуществляются, «самый выгодный» проект приносит убытки, то другие проекты позволяют организации «остаться на плаву».

Как известно, для любой многокритериальной задачи целесообразно рассмотреть множество решений (то есть значений параметра управления), оптимальных по Парето. Эти решения оптимальны в том смысле, что не существует возможных решений, которые превосходили бы Парето-оптимальные решения одновременно по всем критериям. Точнее, превосходили бы хотя бы по одному критерию, а по остальным были бы столь же хорошими. Теория Парето — оптимальных решений хорошо развита (см., например, монографию [109]).

Ясно, что для практической реализации надо выбирать одно из Парето-оптимальных решений. Как выбирать? Разработан целый спектр подходов, из которых выбор может быть сделан только субъективным образом. Таким образом, снова возникает необходимость применения методов экспертных оценок.

Эксперты могут выбирать непосредственно из множества Парето-оптимальных решений, если оно состоит лишь из нескольких элементов. Или же они могут выбирать ту или иную процедуру сведения многокритериальной задачи к однокритериальной. Один из подходов — выбрать т.н. «главный критерий», по которому проводить оптимизацию, превратив остальные критерии в ограничения. Например, минимизировать средний ущерб, потребовав, чтобы дисперсия ущерба не превосходила заданной величины.

Иногда задача многокритериальной оптимизации допускает декомпозицию. Найдя оптимальное значение для главного критерия, можно рассмотреть область возможных значений для остальных критериев, выбрать из них второй по важности и оптимизировать по нему и т.д.

Что же делают эксперты? Они выбирают главный критерий (или упорядочивают критерии по степени важности), задают численные значения ограничений, иногда точность или время вычислений.

Второй основной подход — это свертка многих критериев в один интегральный и переход к оптимизации по одному критерию. Например, рассматривают линейную комбинацию критериев. Строго говоря, метод «главного критерия» — один из вариантов свертки. При этом вес главного критерия равен 1, а веса остальных — 0. Построение свертки, в частности задание весов, целесообразно осуществлять экспертными методами.

Используют также методы, основанные на соображениях устойчивости (наиболее общий подход к изучению устойчивости разработан

в монографии [89]). При этом рассматривают область значений управляющих параметров, в которых значение оптимизируемого одномерного критерия (главного параметра или свертки) отличается от оптимального не более чем на некоторую заданную малую величину. Такая область может быть достаточно обширной. Например, если в задаче линейного программирования одна из граней многогранника, выделенного ограничениями, почти параллельна плоскости равных значений оптимизируемого критерия, то вся эта грань войдет в рассматриваемую область. В выделенной области можно провести оптимизацию другого параметра и т.д. При таком подходе эксперты выбирают допустимое отклонение для основного критерия, выделяют второй критерий, задают ограничения и т.д.

Рассмотренные выше вероятностно-статистические подходы к оцениванию рисков предполагают использование в качестве критериев таких характеристик случайной величины, как математическое ожидание, медиана, квантили, дисперсия и др. Эти характеристики определяются функцией распределения случайного ущерба, соответствующего рассматриваемому риску. При практическом использовании этого подхода перечисленные характеристики оцениваются по статистическим данным. Они оцениваются по выборке, состоящей из наблюдаемых величин ущерба. При этом необходимо вычислять доверительные интервалы, содержащие оцениваемые теоретические характеристики с заданной доверительной вероятностью [76, 92]. Таким образом, критерий, на использовании которого основана оптимизация, всегда определен лишь с некоторой точностью, а именно, лишь с точностью до полудлины доверительного интервала. Таким образом, мы приходим к постановке, рассмотренной в предыдущем абзаце.

Необходимо обратить внимание на существенное изменение ситуации в области вычислительной оптимизации за последние 60 лет. Если в 1950-е гг. из-за маломощности тогдашних компьютеров большое значение имела разработка быстрых методов счета, то в настоящее время внимание переносится на постановки задач и интерпретацию результатов. Это объясняется не только наличием различных программных продуктов по оптимизации, но и тем, что почти любую практическую задачу оптимизации можно решить простейшими методами типа перебора (перебирая возможные значения управляющих параметров с маленьким шагом), либо методом случайного поиска, поскольку быстроедействие современных компьютеров позволяет это сделать.

В риск-менеджменте (то есть управлении рисками) компании целесообразно выделить оперативное управление рисками и стратегическое управление рисками. Первый вид деятельности — постоянно

проводящаяся работа, связанная с обеспечением качества продукции, плановым снижением экологических рисков [79, 101, 126], работой с покупателями, поставщиками, персоналом, связанная с повышением лояльности, и т.д.

Стратегический риск-менеджмент — составная часть стратегического планирования и управления. Надо оценивать риски высокого уровня, например прогнозировать наличие в продаже и цену через 10—20 лет тех или иных товаров, например нефти и «больших» компьютеров. Большое значение на этом уровне имеют теория прогнозирования и экспертные оценки.

Одна из перспективных областей теории управления — контроллинг, то есть разветвленная концепция информационно-аналитической поддержки принятия решений на предприятии [97, 98]. Современному состоянию контроллинга рисков и теории рисков в целом посвящена работа [84].

Контрольные вопросы и задания

1. Какова роль экспертных технологий в задачах оценки, анализа и управления риском?
2. От каких групп факторов зависит риск выполнения научно-исследовательской работы в срок?
3. Какие методы прогнозирования вы знаете?
4. Как соотносятся риск и неопределенность?
5. Рассмотрите различные виды рисков, которые следует учитывать при работе предприятия.
6. Чем объясняется многообразие характеристик риска?
7. Как обычно решают многокритериальные задачи управления риском?
8. Рассчитайте параметры аддитивно-мультипликативной модели оценки рисков производства и реализации инновационного изделия.

Таблица 6.2

Оценка рисков производства и реализации инновационного изделия (проект 1)

| Частные риски | Коэффициенты весомости A_{in} и вероятности | Проект 1 X_{in} |
|---|---|-------------------|
| X_{11} — недооценка сложности производства, и, как следствие, высокая доля брака | 0,08 | 1 |
| X_{21} — принципиальные ошибки при проектировании, из-за которых не удастся наладить серийный выпуск продукции, | 0,07 | 0 |

Окончание

| Частные риски | Коэффициенты весомости A_{in} и вероятности | Проект 1 X_{in} |
|--|---|-------------------|
| X_{31} — риски аварий на производстве, | 0,02 | 0 |
| X_{41} — риски, связанные с отсутствием (болезнь, увольнение) специалистов, и другие риски | 0,03 | 1 |
| Вероятность $P_1 =$ | Риск $R_1 =$ | |
| X_{12} — риски, связанные с деятельностью поставщиков (сроки, качество поставки и т.д.) | 0,05 | 0 |
| X_{22} — риски, связанные с потребителями (товар не привлекателен (плохой маркетинг), высокая цена и т.д.) | 0,07 | 1 |
| X_{32} — риски, связанные с деятельностью конкурентов (выпуск конкурентами аналогичных товаров, сговор и т.д.) | 0,02 | 0 |
| X_{42} — риски, связанные с деятельностью органов государственной власти | 0,06 | 1 |
| Вероятность $P_2 =$ | Риск $R_2 =$ | |
| X_{13} — риски, связанные с изменением законодательства | 0,06 | 0 |
| X_{23} — риски изменения курса валют, курса акций | 0,07 | 1 |
| X_{33} — риски, связанные с инфляцией | 0,07 | 0 |
| Вероятность $P_3 =$ | Риск $R_3 =$ | |
| X_{14} — государственные риски (политические, военные, терроризм) | 0,11 | 1 |
| X_{24} — природные риски (наводнения, землетрясение и т.д.) | 0,09 | 0 |
| Вероятность $P_4 =$ | Риск $R_4 =$ | |
| Итоговая вероятность $P =$ | Итоговый риск $R =$ | |

9. Рассчитайте параметры аддитивно-мультипликативной модели оценки рисков производства и реализации инновационного изделия

Таблица 6.3

Оценка рисков производства и реализации инновационного изделия (проект 2)

| Частные риски | Коэффициенты весомости A_{in} и вероятности | Проект 2 Y_{in} |
|---|---|-------------------|
| X_{11} — недооценка сложности производства, и, как следствие, высокая доля брака | 0,08 | 2 |
| X_{21} — принципиальные ошибки при проектировании, из-за которых не удастся наладить серийный выпуск продукции, | 0,07 | 1 |
| X_{31} — риски аварий на производстве, | 0,02 | 0 |
| X_{41} — риски, связанные с отсутствием (болезнь, увольнение) специалистов, и другие риски | 0,03 | 0 |

| Частные риски | Коэффициенты весомости A_{in} и вероятности | Проект 2 Y_{in} |
|--|---|----------------------|
| Вероятность $P_1 =$ | Риск $R_1 =$ | |
| X_{12} — риски, связанные с деятельностью поставщиков (сроки, качество поставки и т.д.) | 0,05 | 1 |
| X_{22} — риски, связанные с потребителями (товар не привлекателен (плохой маркетинг), высокая цена и т.д.) | 0,07 | 2 |
| X_{32} — риски, связанные с деятельностью конкурентов (выпуск конкурентами аналогичных товаров, сговор и т.д.) | 0,02 | 1 |
| X_{42} — риски, связанные с деятельностью органов государственной власти | 0,06 | 1 |
| Вероятность $P_2 =$ | Риск $R_2 =$ | |
| X_{13} — риски, связанные с изменением законодательства | 0,06 | 0 |
| X_{23} — риски изменения курса валют, курса акций | 0,07 | 1 |
| X_{33} — риски, связанные с инфляцией | 0,07 | 0 |
| Вероятность $P_3 =$ | Риск $R_3 =$ | |
| X_{14} — государственные риски (политические, военные, терроризм) | 0,11 | 1 |
| X_{24} — природные риски (наводнения, землетрясение и т.д.) | 0,09 | 0 |
| Вероятность $P_4 =$ | Риск $R_4 =$ | |
| Итоговая вероятность $P =$ | Итоговый риск $R =$ | |

10. Рассчитайте параметры аддитивно-мультипликативной модели оценки рисков производства и реализации инновационного изделия

Таблица 6.4

**Оценка рисков производства и реализации инновационного изделия
(проект 3)**

| Частные риски | Коэффициенты весомости A_{in} и вероятности | Проект 3 W_{in} |
|---|---|----------------------|
| X_{11} — недооценка сложности производства, и, как следствие, высокая доля брака | 0,08 | 2 |
| X_{21} — принципиальные ошибки при проектировании, из-за которых не удастся наладить серийный выпуск продукции, | 0,07 | 1 |
| X_{31} — риски аварий на производстве, | 0,02 | 0 |
| X_{41} — риски, связанные с отсутствием (болезнь, увольнение) специалистов, и другие риски | 0,03 | 0 |
| Вероятность $P_1 =$ | Риск $R_1 =$ | |
| X_{12} — риски, связанные с деятельностью поставщиков (сроки, качество поставки и т.д.) | 0,05 | 1 |

| Частные риски | Коэффициенты весомости A_{in} и вероятности | Проект 3 W_{in} |
|--|---|----------------------|
| X_{22} — риски, связанные с потребителями (товар не привлекателен (плохой маркетинг), высокая цена и т.д.) | 0,07 | 1 |
| X_{32} — риски, связанные с деятельностью конкурентов (выпуск конкурентами аналогичных товаров, сговор и т.д.) | 0,02 | 1 |
| X_{42} — риски, связанные с деятельностью органов государственной власти | 0,06 | 1 |
| Вероятность $P_2 =$ | Риск $R_2 =$ | |
| X_{13} — риски, связанные с изменением законодательства | 0,06 | 0 |
| X_{23} — риски изменения курса валют, курса акций | 0,07 | 1 |
| X_{33} — риски, связанные с инфляцией | 0,07 | 0 |
| Вероятность $P_3 =$ | Риск $R_3 =$ | |
| X_{14} — государственные риски (политические, военные, терроризм) | 0,11 | 1 |
| X_{24} — природные риски (наводнения, землетрясение и т.д.) | 0,09 | 0 |
| Вероятность $P_4 =$ | Риск $R_4 =$ | |
| Итоговая вероятность $P =$ | Итоговый риск $R =$ | |

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Прогнозирование, планирование и теория риска.
2. Оптимальность по Парето и методы решения многокритериальных задач управления рисками.
3. Использование в теории риска интервального описания неопределенности.
4. Использование в теории риска нечеткого описания неопределенности.
5. Формирование оптимального пакета ценных бумаг с учетом финансовых рисков.
6. Сочетание аддитивных и мультипликативных моделей при оценке риска.
7. Проанализируйте риски, сопутствующие деятельности известного вам предприятия (организации).

Глава 7

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Перейдем к обсуждению математических оснований теории экспертных оценок.

7.1. ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Ясно, что при анализе мнений экспертов можно применять самые разнообразные статистические методы, описывать их — значит описывать практически всю прикладную статистику. Тем не менее можно выделить основные широко используемые в настоящее время методы математической обработки экспертных оценок — это проверка согласованности мнений экспертов (или классификация экспертов, то есть разбиение их на группы сходных по мнению, если нет согласованности) и усреднение мнений экспертов внутри согласованной группы.

Поскольку ответы экспертов во многих процедурах экспертного опроса — не числа, а такие объекты нечисловой природы, как градации качественных признаков, ранжировки, разбиения, результаты парных сравнений, нечеткие предпочтения и т.д., то для их анализа оказываются полезными методы статистики объектов нечисловой природы.

Почему ответы экспертов часто носят нечисловой характер? Наиболее общий ответ состоит в том, что люди не мыслят числами. В мышлении человека используются образы, слова, но не числа. Поэтому требовать от эксперта ответ в форме чисел — значит насиловать его разум. Даже в экономике предприниматели, принимая решения, лишь частично опираются на численные расчеты. Это видно из условного (то есть определяемого произвольно принятыми соглашениями, обычно оформленными в виде инструкций) характера балансовой прибыли, амортизационных отчислений и других экономических показателей. В этом одна из причин того, что фраза типа «фирма стремится к максимизации прибыли» не может иметь строго определенного смысла. Достаточно спросить: «Максимизация прибыли — за какой период?»

И сразу станет ясно, что степень оптимальности принимаемых решений зависит от горизонта планирования (на экономико-математическом уровне этот сюжет рассмотрен в [77, гл.1.3], а подробнее, со всеми доказательствами, — в монографии [89]).

Эксперт может сравнить два объекта, сказать, какой из двух лучше (метод парных сравнений), дать им оценки типа «хороший», «приемлемый», «плохой», упорядочить несколько объектов по привлекательности, но обычно не может ответить, во сколько раз или на сколько один объект лучше другого. Ответы эксперта обычно измерены в порядковой шкале, или являются ранжировками, результатами парных сравнений и другими объектами нечисловой природы, но не числами.

Распространенное заблуждение состоит в том, что ответы экспертов стараются рассматривать как числа, занимаются «оцифровкой» их мнений, приписывая этим мнениям численные значения — баллы, которые потом обрабатывают с помощью методов прикладной статистики как результаты обычных физико-технических измерений. В случае произвольности «оцифровки» выводы, полученные в результате подобной обработки данных, могут не иметь никакого отношения к реальности.

В связи с «оцифровкой» уместно вспомнить классическую притчу о человеке, который ищет потерянные ключи под фонарем, хотя потерял их в кустах. На вопрос, почему он так делает, отвечает: «Под фонарем светлее». Это, конечно, верно. Но, к сожалению, весьма малы шансы найти потерянные ключи под фонарем. Так и с «оцифровкой» нечисловых данных. Она дает возможность имитации научной деятельности, но не возможность найти истину.

В соответствии с теорией измерений выводы, полученные на основе анализа мнений экспертов, должны быть инвариантны относительно допустимых преобразований шкал измерений. В случае порядковой шкалы — относительно любого строго возрастающего преобразования.

Проверка согласованности мнений экспертов и классификация экспертных мнений. Ясно, что мнения разных экспертов различаются. Важно понять, насколько велико это различие. Если мало — усреднение мнений экспертов позволит выделить то общее, что есть у всех экспертов, отбросив случайные отклонения в ту или иную сторону. Если велико — усреднение является чисто формальной процедурой. Так, если представить себе, что ответы экспертов равномерно покрывают поверхность бублика, то формальное усреднение укажет на центр дырки от бублика, а такого мнения не придерживается ни один эксперт. Из сказанного ясна важность проблемы проверки согласованности мнений экспертов.

Разработан ряд методов такой проверки. Статистические методы проверки согласованности зависят от математической природы ответов экспертов. Соответствующие статистические теории весьма трудны, если эти ответы — ранжировки или разбиения, и достаточно просты, если ответы — результаты независимых парных сравнений. Отсюда вытекает рекомендация по организации экспертного опроса: не старайтесь сразу получить от эксперта ранжировку или разбиение, ему трудно это сделать, да и имеющиеся математические методы не позволяют далеко продвинуться в анализе подобных данных. Например, рекомендуют проверять согласованность ранжировок с помощью коэффициента ранговой конкордации Кендалла-Смита. Но давайте вспомним, какая статистическая модель при этом используется. Как известно, в рамках методологии математической статистики проверяется нулевая гипотеза, согласно которой ранжировки независимы и равномерно распределены на множестве всех ранжировок. Если эта гипотеза принимается, то ни о какой согласованности мнений экспертов говорить нельзя. А если отклоняется? Тоже нельзя. Например, может быть два (или больше) центра, около которых группируются ответы экспертов. Нулевая гипотеза отклоняется. Но разве можно говорить о согласованности?

Эксперту гораздо легче на каждом шагу сравнивать только два объекта. Пусть он занимается парными сравнениями. *Непараметрическая теория парных сравнений (теория люсианов)* [72, 76] *позволяет решать более сложные задачи, чем статистика ранжировок или разбиений*. В частности, вместо гипотезы равномерного распределения можно рассматривать гипотезу однородности, то есть вместо совпадения всех распределений с одним фиксированным (равномерным) можно проверять лишь совпадение распределений мнений экспертов между собой, что естественно трактовать как согласованность их мнений. Таким образом, удастся избавиться от неестественного предположения равномерности.

При отсутствии согласованности экспертов естественно разбить их на группы сходных по мнению. Это можно сделать различными методами статистики объектов нечисловой природы, относящимися к кластер-анализу, предварительно введя метрику в пространство мнений экспертов. Идея американского математика Джона Кемени об аксиоматическом введении метрик (см. ниже) нашла многочисленных продолжателей. Однако методы кластер-анализа обычно являются эвристическими. В частности, обычно невозможно с позиций статистической теории обосновать «законность» объединения двух кластеров в один. Имеется важное исключение — *для независимых парных срав-*

нений (люсианов) разработаны методы, позволяющие проверять возможность объединения кластеров как статистическую гипотезу. Это — еще один аргумент за то, чтобы рассматривать теорию люсианов как центральное ядро математических методов экспертных оценок [77].

Нахождение итогового мнения комиссии экспертов. Пусть мнения комиссии экспертов или какой-то ее части признаны согласованными. Каково же итоговое (среднее, общее) мнение комиссии? Согласно идее Джона Кемени следует найти среднее мнение как решение оптимизационной задачи. А именно, надо минимизировать суммарное расстояние от кандидата в средние до мнений экспертов. Найденное таким способом среднее мнение называют «медианой Кемени».

Математическая сложность состоит в том, что мнения экспертов лежат в некотором пространстве объектов нечисловой природы. Общая теория подобного усреднения построена в ряде работ, в частности, показано, что в силу обобщения закона больших чисел среднее мнение при увеличении числа экспертов (чи мнения независимы и одинаково распределены) приближается к некоторому пределу, который естественно назвать *математическим ожиданием* (случайного элемента, имеющего то же распределение, что и ответы экспертов).

В конкретных пространствах нечисловых мнений экспертов вычисление медианы Кемени может быть достаточно сложным делом. Кроме свойств пространства велика роль конкретных метрик. Так, в пространстве ранжировок при использовании метрики, связанной с коэффициентом ранговой корреляции Кендалла, необходимо проводить достаточно сложные расчеты, в то время как применение показателя различия на основе коэффициента ранговой корреляции Спирмена приводит к упорядочению по средним арифметическим рангам.

Бинарные отношения и расстояние Кемени. Как известно, бинарное отношение A на конечном множестве $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ — это подмножество декартова квадрата $Q^2 = \{(q_m, q_n), m, n = 1, 2, \dots, k\}$. При этом пара (q_m, q_n) входит в A тогда и только тогда, когда между q_m и q_n имеется рассматриваемое отношение.

Напомним, что каждую кластеризованную ранжировку, как и любое бинарное отношение, можно задать квадратной матрицей $\|x(a, b)\|$ из 0 и 1 порядка $k \times k$. При этом $x(a, b) = 1$ тогда и только тогда, когда $a < b$ либо $a = b$. В первом случае $x(b, a) = 0$, а во втором $x(b, a) = 1$. При этом хотя бы одно из чисел $x(a, b)$ и $x(b, a)$ равно 1.

В экспертных методах используют, в частности, такие бинарные отношения, как ранжировки (упорядочения или разбиения на группы, между которыми имеется строгий порядок), отношения эквивалентности, толерантности (отношения сходства). Как следует из сказан-

ного выше, каждое бинарное отношение A можно описать матрицей $\|a(i, j)\|$ из 0 и 1, причем $a(i, j) = 1$ тогда и только тогда, когда q_i и q_j находятся в отношении A , и $a(i, j) = 0$ в противном случае.

Определение 7.1. Расстоянием Кемени между бинарными отношениями A и B , описываемыми матрицами $\|a(i, j)\|$ и $\|b(i, j)\|$ соответственно, называется число

$$D(A, B) = \sum_{i,j=1}^k |a(i, j) - b(i, j)|,$$

то есть расстояние Кемени между бинарными отношениями равно сумме модулей разностей элементов, стоящих на одних и тех же местах в матрицах, соответствующих этим бинарным отношениям.

Легко видеть, что расстояние Кемени — это число несовпадающих элементов в матрицах $\|a(i, j)\|$ и $\|b(i, j)\|$.

Вид расстояния Кемени не выбран произвольно. Он основан на некоторой системе аксиом. Эта система аксиом и вывод из нее формулы для расстояния Кемени между упорядочениями содержится в книге [24], которая сыграла большую роль в развитии в нашей стране такого научного направления, как анализ нечисловой информации [2, 124]. В дальнейшем под влиянием Кемени предложены различные системы аксиом для получения расстояний в тех или иных нужных для социально-экономических исследований пространствах, например в пространствах множеств [81, 89].

Медиана Кемени и законы больших чисел. С помощью расстояния Кемени находят итоговое мнение комиссии экспертов. Пусть $A_1, A_2, A_3, \dots, A_p$ — ответы p экспертов, представленные в виде бинарных отношений. Для их усреднения используют т.н. **медиану Кемени**

$$\text{Arg min}_{\{A\}} \sum_{i=1}^p D(A_i, A),$$

где Arg min — то или те значения A , при которых достигает минимума указанная сумма расстояний Кемени от ответов экспертов до текущей переменной A , по которой и проводится минимизация. Таким образом,

$$\sum_{i=1}^p D(A_i, A) = D(A_1, A) + D(A_2, A) + D(A_3, A) + \dots + D(A_p, A).$$

Важно, по какому множеству (значений переменной A) проводится минимизация. Если по множеству всех упорядочений, как описано в книге Дж. Кемени и Дж. Снелла [24], то нахождение медианы представляет собой сложную вычислительную задачу дискретной оптимизации (см., например, алгоритм Б.Г. Литвака [36] и статью М.С. Жукова [19]). Минимизация же по множеству всех бинарных отношений тривиальна — по правилу большинства [89], то есть на определенном месте матрицы, описывающей итоговое мнение ЭК, стоит 1 тогда

и только тогда, когда более чем в половине матриц экспертов находится на этом месте 1, и стоит 0 тогда и только тогда, когда более чем в половине матриц экспертов — на этом месте 0. Если мнения экспертов разделились поровну, то медиана Кемени определяется неоднозначно — на соответствующем месте может стоять и 0, и 1. Такое возможно только при четном числе экспертов.

Кроме медианы Кемени используют и другие средние величины в пространстве бинарных отношений, например введенное в [24] **среднее по Кемени**, в котором вместо $D(A_i, A)$ стоит $D^2(A_i, A)$.

Медиана Кемени — частный случай определения эмпирического среднего в пространствах нечисловой природы [76]. Для нее справедлив закон больших чисел [85], то есть эмпирическое среднее приближается при росте числа составляющих (то есть p — числа слагаемых в сумме), к теоретическому среднему:

$$\text{Arg min}_{\{A\}} \sum_{i=1}^p D(A_i, A) \rightarrow \text{Arg min}_{\{A\}} M(D(A_i, A)).$$

Здесь M — символ математического ожидания. Предполагается, что ответы p экспертов $A_1, A_2, A_3, \dots, A_p$ есть основания рассматривать как независимые одинаково распределенные случайные элементы (то есть как случайную выборку) в соответствующем пространстве бинарных отношений, например в пространстве упорядочений или отношений эквивалентности. Систематически эмпирические и теоретические средние и соответствующие различные варианты законов больших чисел изучены в ряде работ (см., например, [76, 85, 92]).

Законы больших чисел показывают: медиана Кемени обладает **устойчивостью** по отношению к незначительному изменению состава экспертной комиссии; при увеличении числа экспертов она **приближается к некоторому пределу**. Его естественно рассматривать как **истинное мнение** экспертов, от которого каждый из них несколько отклонялся по случайным причинам.

Рассматриваемый здесь закон больших чисел является обобщением известного в статистике «классического» закона больших чисел. Он основан на иной математической базе — теории оптимизации (в пространствах произвольной природы), в то время как «классический» закон больших чисел использует суммирование. Упорядочения и другие бинарные отношения нельзя складывать, поэтому приходится применять иную математику.

Вычисление медианы Кемени в общем случае — задача целочисленного программирования [19]. Для ее нахождения используются различные алгоритмы дискретной математики, в частности основан-

ные на методе ветвей и границ. Применяют также алгоритмы, основанные на идее случайного поиска, поскольку для каждого бинарного отношения нетрудно найти множество его соседей.

Рассмотрим пример вычисления медианы Кемени. Пусть дана квадратная матрица (порядка 9) попарных расстояний для множества бинарных отношений из 9 элементов $A_1, A_2, A_3, \dots, A_9$ (см. табл. 7.1). Найдем в этом множестве медиану для множества из 5 элементов $\{A_2, A_4, A_5, A_8, A_9\}$.

Таблица 7.1

Матрица попарных расстояний, условные единицы

| Элемент | A_1 | A_2 | A_3 | A_4 | A_5 | A_6 | A_7 | A_8 | A_9 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A_1 | 0 | 2 | 13 | 1 | 7 | 4 | 10 | 3 | 11 |
| A_2 | 2 | 0 | 5 | 6 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 |
| A_3 | 13 | 5 | 0 | 2 | 2 | 7 | 6 | 5 | 7 |
| A_4 | 1 | 6 | 2 | 0 | 5 | 4 | 3 | 8 | 8 |
| A_5 | 7 | 1 | 2 | 5 | 0 | 10 | 1 | 3 | 7 |
| A_6 | 4 | 3 | 7 | 4 | 10 | 0 | 2 | 1 | 5 |
| A_7 | 10 | 2 | 6 | 3 | 1 | 2 | 0 | 6 | 3 |
| A_8 | 3 | 5 | 5 | 8 | 3 | 1 | 6 | 0 | 9 |
| A_9 | 11 | 1 | 7 | 8 | 7 | 5 | 3 | 9 | 0 |

В соответствии с определением медианы Кемени, следует ввести в рассмотрение функцию

$$C(A) = \sum_{i \in \{2,4,5,8,9\}} D(A_i, A) = D(A_2, A) + D(A_4, A) + D(A_5, A) + D(A_8, A) + D(A_9, A).$$

рассчитать ее значения для всех $A = A_1, A_2, A_3, \dots, A_9$ и выбрать наименьшее.

Проведем расчеты:

$$C(A_1) = D(A_2, A_1) + D(A_4, A_1) + D(A_5, A_1) + D(A_8, A_1) + D(A_9, A_1) = 2 + 1 + 7 + 3 + 11 = 24,$$

$$C(A_2) = D(A_2, A_2) + D(A_4, A_2) + D(A_5, A_2) + D(A_8, A_2) + D(A_9, A_2) = 0 + 6 + 1 + 5 + 1 = 13,$$

$$C(A_3) = D(A_2, A_3) + D(A_4, A_3) + D(A_5, A_3) + D(A_8, A_3) + D(A_9, A_3) = 5 + 2 + 2 + 5 + 7 = 21,$$

$$C(A_4) = D(A_2, A_4) + D(A_4, A_4) + D(A_5, A_4) + D(A_8, A_4) + D(A_9, A_4) = 6 + 0 + 5 + 8 + 8 = 27,$$

$$C(A_5) = D(A_2, A_5) + D(A_4, A_5) + D(A_5, A_5) + D(A_8, A_5) + D(A_9, A_5) = 1 + 5 + 0 + 3 + 7 = 16,$$

$$C(A_6) = D(A_2, A_6) + D(A_4, A_6) + D(A_5, A_6) + D(A_8, A_6) + D(A_9, A_6) = 3 + 4 + 10 + 1 + 5 = 23,$$

$$C(A_7) = D(A_2, A_7) + D(A_4, A_7) + D(A_5, A_7) + D(A_8, A_7) + D(A_9, A_7) = 2 + 3 + 1 + 6 + 3 = 15,$$

$$C(A_8) = D(A_2, A_8) + D(A_4, A_8) + D(A_5, A_8) + D(A_8, A_8) + D(A_9, A_8) = 5 + 8 + 3 + 0 + 9 = 25,$$

$$C(A_9) = D(A_2, A_9) + D(A_4, A_9) + D(A_5, A_9) + D(A_8, A_9) + D(A_9, A_9) = 1 + 8 + 7 + 9 + 0 = 25.$$

Из всех вычисленных сумм наименьшая равна 13, и достигается она при $A=A_2$, следовательно, медиана Кемени — это множество $\{A_2\}$, состоящее из одного элемента A_2 .

В данном случае медиана Кемени — одно из исходных экспертных мнений. В общем случае медиана Кемени может не совпадать ни с одним из мнений экспертов. Последнее обстоятельство является поводом для критики рассматриваемого способа усреднения. Действительно, если представить себе, что ответы экспертов равномерно распределены по поверхности бублика (в математической терминологии — тора), то медиана Кемени — центр бублика, лежит в пустоте, следовательно, далека от мнений кого-либо из экспертов.

Выход из этого парадокса может быть найден путем изменения области минимизации $\{A\}$ в определении медианы Кемени. Действительно, если положить $\{A\} = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_p\}$, то, очевидно, решением задачи минимизации будет одно из экспертных мнений. Такое среднее назовем «модифицированной медианой Кемени».

Преимуществом модифицированной медианы Кемени является значительно меньшая вычислительная трудоемкость. Если для расчета медианы Кемени необходимо применять специальные алгоритмы дискретной оптимизации (см., например, [19, 36]), то модифицированную медиану Кемени можно найти без привлечения компьютера, как это и продемонстрировано выше.

7.2. ЭКСПЕРТНЫЕ МНЕНИЯ И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НИМИ

Как показано выше, мнения экспертов могут иметь разнообразную математическую природу, являться элементами разнообразных пространств — конечномерных, функциональных, бинарных отношений, множеств, нечетких множеств и т.д. Следовательно, центральной частью математического аппарата теории экспертных оценок является статистика в пространствах произвольной природы [72, 76]. Эта область прикладной статистики сама по себе не используется при анализе конкретных данных, поскольку конкретные данные всегда имеют

вполне определенную природу. Однако общие подходы, методы, результаты статистики в пространствах произвольной природы представляют собой научный инструментарий, готовый для применения в каждой конкретной области.

Статистика в пространствах произвольной природы. Много ли общего у статистических методов анализа данных различной природы? На этот естественный вопрос можно сразу же однозначно ответить — да, очень много.

Понятия случайного события, вероятности, независимости событий и случайных величин являются общими для любых конечных вероятностных пространств и любых конечных областей значений случайных величин (см., например, [76, гл. 2]). Поскольку все реальные явления и процессы можно описывать с помощью математических объектов, являющихся элементами конечных множеств, сказанное выше означает, что конечных вероятностных пространств и дискретных случайных величин (точнее, величин, принимающих значения в конечном множестве) вполне достаточно для всех практических применений. Переход к непрерывным моделям реальных явлений и процессов оправдан только тогда, когда этот переход облегчает проведение рассуждений и выкладок. Например, находить определенные интегралы зачастую проще, чем вычислять значения сумм. Не могу не отметить, что приведенные соображения о взаимном соотношении дискретных и непрерывных математических моделей автор услышал более 40 лет назад от академика А.Н. Колмогорова (ясно, что за конкретную формулировку несет ответственность автор настоящего учебника).

Основные проблемы прикладной статистики — описание данных, оценивание, проверка гипотез — также в своей существенной части могут быть рассмотрены в рамках статистики в пространствах произвольной природы. Например, для описания данных могут быть использованы эмпирические и теоретические средние, плотности вероятностей и их непараметрические оценки, регрессионные зависимости. Правда, для этого пространства произвольной природы должны быть снабжены соответствующим математическим инструментарием — расстояниями (показателями близости, мерами различия) между элементами рассматриваемых пространств.

Популярный в настоящее время метод оценивания параметров распределений — метод максимального правдоподобия — не накладывает каких-либо ограничений на конкретный вид элементов выборки. Они могут лежать в пространстве произвольной природы. Математические условия касаются только свойств плотностей вероятности и их произ-

водных по параметрам. Аналогично положение с методом одношаговых оценок, идущим на смену методу максимального правдоподобия [76, гл. 6]. Асимптотику решений экстремальных статистических задач достаточно изучить для пространств произвольной природы, а затем применять в каждом конкретном случае [59], когда задачу прикладной статистики удастся представить в оптимизационном виде. Общая теория проверки статистических гипотез также не требует конкретизации математической природы рассматриваемых элементов выборок. Это относится, например, к лемме Неймана — Пирсона или теории статистических решений. Более того, естественная область построения теории статистик интегрального типа — это не числовая прямая, а пространства произвольной природы [76, разд.7.3].

Совершенно ясно, что в конкретных областях прикладной статистики накоплено большое число результатов, относящихся именно к этим областям. Особенно это касается областей, исследования в которых ведутся сотни лет, в частности статистики случайных величин (одномерной статистики). Однако принципиально важно указать на «ядро» прикладной статистики — статистику в пространствах произвольной природы. Если постоянно держать в уме это ядро, то становится ясно, что, например, многие методы непараметрической оценки плотности вероятности или кластер-анализа, использующие только расстояния между объектами и элементами выборки, относятся именно к статистике объектов произвольной природы, а не к статистике случайных величин или многомерному статистическому анализу. Следовательно, и применяться они могут во всех областях прикладной статистики, а не только в тех, в которых «родились».

Расстояния (метрики). В пространствах произвольной природы нет операции сложения, поэтому статистические процедуры не могут быть основаны на использовании сумм. Поэтому используется другой математический инструментарий, использующий понятия типа расстояния.

Как известно, расстоянием в пространстве X называется числовая функция двух переменных

$$d(x, y), x \in X, y \in X,$$

определенная на этом пространстве, то есть в стандартных обозначениях $d: X^2 \rightarrow R^1$, где R^1 — прямая, то есть множество всех действительных чисел. Эта функция должна удовлетворять трем условиям (иногда их называют аксиомами):

1) неотрицательности: $d(x, y) \geq 0$, причем $d(x, x) = 0$, для любых значений $x \in X, y \in X$;

- 2) симметричности: $d(x, y) = d(y, x)$ для любых $x \in X, y \in X$;
 3) неравенства треугольника: $d(x, y) + d(y, z) \geq d(x, z)$ для любых значений $x \in X, y \in X, z \in X$.

Для термина «расстояние» часто используется синоним — «метрика».

Пример 7.1. Если $d(x, x) = 0$ и $d(x, y) = 1$ при $x \neq y$ для любых значений $x \in X, y \in X$, то, как легко проверить, функция $d(x, y)$ — расстояние (метрика). Такое расстояние естественно использовать в пространстве X значений номинального признака: если два значения (например, названные двумя экспертами) совпадают, то расстояние равно 0, а если различны — то 1.

Пример 7.2. Расстояние, используемое в геометрии, очевидно, удовлетворяет трем приведенным выше аксиомам. Если X — это плоскость, а $x(1)$ и $x(2)$ — координаты точки $x \in X$ в некоторой прямоугольной системе координат, то эту точку естественно отождествить с двумерным вектором $(x(1), x(2))$. Тогда расстояние между точками $x = (x(1), x(2))$ и $y = (y(1), y(2))$ согласно известной формуле аналитической геометрии равно

$$d(x, y) = \sqrt{(x(1) - y(1))^2 + (x(2) - y(2))^2}$$

Пример 7.3. Евклидовым расстоянием в пространстве R^k векторов вида $x = (x(1), x(2), \dots, x(k))$ и $y = (y(1), y(2), \dots, y(k))$ размерности k называется

$$d(x, y) = \left(\sum_{j=1}^k (x(j) - y(j))^2 \right)^{1/2}.$$

В примере 2 рассмотрен частный случай примера 3 с $k = 2$.

Пример 7.4. В пространстве R^k векторов размерности k используют также так называемое «блочное расстояние», имеющее вид

$$d(x, y) = \sum_{j=1}^k |x(j) - y(j)|.$$

Блочное расстояние соответствует передвижению по городу, разбитому на кварталы горизонтальными и вертикальными улицами. В результате можно передвигаться только параллельно одной из осей координат.

Пример 7.5. В пространстве функций, элементами которого являются функции $x = x(t), y = y(t), 0 \leq t \leq 1$, часто используют расстояние Колмогорова

$$d(x, y) = \sup_{0 \leq t \leq 1} |x(t) - y(t)|.$$

Пример 7.6. Пространство функций, элементами которого являются функции $x = x(t), y = y(t), 0 \leq t \leq 1$, превращают в метрическое пространство (то есть в пространство с метрикой), вводя расстояние

$$d_p(x, y) = \left(\int_0^1 (x(t) - y(t))^p dt \right)^{1/p}.$$

Это пространство обычно обозначают L^p , где параметр $p \geq 1$ (при $p < 1$ не выполняются аксиомы метрического пространства, в частности аксиома треугольника).

Пример 7.7. Рассмотрим пространство квадратных матриц порядка k . Как ввести расстояние между матрицами $A = \|a(i, j)\|$ и $B = \|b(i, j)\|$? Можно сложить расстояния между соответствующими элементами матриц:

$$D(A, B) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k |a(i, j) - b(i, j)|.$$

Пример 7.8. Предыдущий пример наводит на мысль о следующем полезном свойстве расстояний. Если на некотором пространстве определены два или больше расстояний, то их сумма — также расстояние.

Пример 7.9. Пусть A и B — множества. Расстояние между множествами можно определить формулой

$$d(A, B) = \mu(A \Delta B).$$

Здесь μ — мера на рассматриваемом пространстве множеств, Δ — символ симметрической разности множеств,

$$A \Delta B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A).$$

Если мера — так называемая считающая, то есть приписывающая единичный вес каждому элементу множества, то введенное расстояние есть число несовпадающих элементов в множествах A и B .

Замечание. Строго говоря, функция $d(A, B) = \mu(A \Delta B)$ не задает метрику, поскольку из $d(A, B) = 0$ не всегда следует, что $A = B$, так как мера некоторых непустых множеств может равняться 0. Для функций $d(A, B)$, имеющих все свойства расстояний (метрик), кроме одного: из $d(A, B) = 0$ не всегда следует, что $A = B$, используют термин «**псевдометрика**».

Пример 7.10. Между множествами можно ввести и другое расстояние (псевдометрику):

$$d_1(A, B) = \frac{\mu(A \Delta B)}{\mu(A \cup B)}.$$

В ряде задач анализа экспертных данных используются функции двух переменных, для которых выполнены не все три аксиомы расстояния, а только некоторые. Их обычно называют показателями различия, поскольку чем больше различаются объекты, тем больше значение функции. Иногда в том же смысле используют термин «мера близости». Он менее удачен, поскольку большее значение функции соответствует меньшей близости.

Чаще всего отказываются от аксиомы, требующей выполнения неравенства треугольника, поскольку это требование не всегда находит обоснование в конкретной прикладной ситуации.

Пример 7.11. В конечномерном векторном пространстве показателем различия является

$$d(x, y) = \sum_{j=1}^k (x(j) - y(j))^2.$$

(сравните с примером 7.3).

Показателями различия, но не расстояниями являются такие популярные в прикладной статистике показатели, как дисперсия или средний квадрат ошибки при оценивании.

Иногда отказываются и от аксиомы симметричности.

Пример 7.12. Показателем различия чисел x и y является

$$d(x, y) = \left| \frac{x}{y} - 1 \right|.$$

Такой показатель различия используют в ряде процедур экспертного оценивания [116].

Что же касается первой аксиомы расстояния, то в различных постановках задач анализа экспертных данных ее обычно принимают. Вполне естественно, что наименьший показатель различия должен достигаться, причем именно на совпадающих объектах. Имеет ли смысл это наименьшее значение делать отличным от 0? Вряд ли, поскольку всегда можно добавить одну и ту же константу ко всем значениям показателя различия и тем самым добиться выполнения первой аксиомы.

7.3. АКСИМАТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

При анализе экспертных данных используют большое количество метрик и показателей различия. Как обоснованно выбрать то или иное расстояние для использования в конкретной задаче? В 1959 г. американский математик Джон Кемени предложил использовать аксиоматический подход, согласно которому следует сформулировать естественные для конкретной задачи аксиомы и вывести из них вид метрики. Этот подход получил большую популярность в нашей стране после выхода в 1972 г. перевода на русский язык книги Дж. Кемени и Дж. Снелла [24], в которой дана система аксиом для расстояния Кемени между упорядочениями. Последовала большая серия работ, в которых из тех или иных систем аксиом выводился вид метрики или показателя различия для различных видов данных, прежде всего для объектов нечисловой природы. Многие полученные результаты описаны в обзоре [111], содержащем 161 ссылку на предыдущие публикации, в том числе 69 на русском языке. Рассмотрим некоторые задачи аксиоматического введения расстояний.

Аксиоматическое введение расстояния между толерантностями.

Толерантность — это бинарное отношение, являющееся рефлексивным и симметричным. Его обычно используют для описания отношения сходства между реальными объектами, отношений знакомства или дружбы между людьми. От отношения эквивалентности отличается тем, что свойство транзитивности не предполагается обязательно выполненным. Действительно, Иванов может быть знаком с Петровым, Петров — с Сидоровым, но при этом ничего необычного нет в том, что Иванов и Сидоров не знакомы между собой.

Пусть множество X , на котором определено отношение толерантности, состоит из конечного числа элементов:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}.$$

Тогда толерантность описывается квадратной матрицей $A = \|a(i, j)\|$, $i, j = 1, 2, \dots, k$, такой, что $a(i, j) = 1$, если x_i и x_j связаны отношением толерантности, и $a(i, j) = 0$ в противном случае.

Матрица A симметрична: $a(i, j) = a(j, i)$, на главной диагонали стоят единицы: $a(i, i) = 1$. Любая матрица, удовлетворяющая приведенным в предыдущей фразе условиям, является матрицей, соответствующей некоторому отношению толерантности. Матрице A можно сопоставить неориентированный граф с вершинами в точках X : вершины x_i и x_j соединены ребром тогда и только тогда, когда $a(i, j) = 1$. Толерантности часто используются при проведении экспертных исследований.

Будем говорить, что толерантность A_3 лежит между толерантностями A_1 и A_2 , если при всех i, j число $a_3(i, j)$ лежит между числами $a_1(i, j)$ и $a_2(i, j)$, то есть выполнены либо неравенства $a_1(i, j) < a_3(i, j) < a_2(i, j)$, либо неравенства $a_1(i, j) > a_3(i, j) > a_2(i, j)$.

Теорема 7.1 [89]. Пусть

(I) $d(A_1, A_2)$ — метрика в пространстве толерантностей, определенных на конечном множестве $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$;

(II) $d(A_1, A_3) + d(A_3, A_2) = d(A_1, A_2)$ тогда и только тогда, когда A_3 лежит между A_1 и A_2 ;

(III) если отношения толерантности A_1 и A_2 отличаются только на одной паре элементов, то есть $a_1(i, j) = a_2(i, j)$ при $(i, j) \neq (i_0, j_0)$, $i < j$, $i_0 < j_0$, и $a_1(i_0, j_0) \neq a_2(i_0, j_0)$, то $d(A_1, A_2) = 1$.

Тогда

$$d(A_1, A_2) = \sum_{1 \leq i < j \leq k} |a_1(i, j) - a_2(i, j)| = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k |a_1(i, j) - a_2(i, j)|.$$

Таким образом, расстояние $d(A_1, A_2)$ только постоянным множителем $1/2$ отличается от расстояния Кемени, введенного в разд. 7.1 в пространстве всех бинарных отношений как расстояние Хемминга между описывающими отношения матрицами из 0 и 1. Теорема 1 дает

аксиоматическое введение расстояния в пространстве толерантностей. Оказалось, что оно является сужением расстояния Кемени на это пространство. Сам Дж. Кемени дал аналогичную систему аксиом для сужения на пространство упорядочений. Доказательство теоремы 7.1 вытекает из рассуждений, связанных с аксиоматическим введением расстояний между множествами, и приводится ниже.

Мера симметрической разности как расстояние между множествами.

Как известно, бинарное отношение можно рассматривать как подмножество декартова квадрата X_2 того множества X , на котором оно определено. Поэтому теорему 7.1 можно рассматривать как аксиоматическое введение расстояния между множествами специального вида. Укажем систему аксиом для расстояния между множествами общего вида, описанного в примере 9 предыдущего раздела.

Определение 7.2. Множество B находится между множествами A и C , если $(A \cap C) \subseteq B \subseteq (A \cup C)$.

С помощью определения 7.2 в совокупности множеств вводятся геометрические соотношения, использование которых полезно для восприятия рассматриваемых ситуаций.

Расстояние между двумя точками в евклидовом пространстве не изменится, если обе точки сдвинуть на один и тот же вектор. Аналогичное свойство расстояния между множествами сформулируем в виде аксиомы 7.1. Оно соответствует аксиоме 3 Кемени и Снелла [24, с. 22] для расстояний между упорядочениями.

Аксиома 7.1. Если $A \cap C = B \cap C = \emptyset$, то $d(A, B) = d(A \cup C, B \cup C)$.

Определение 7.3. Непустая система множеств называется кольцом, если для любых двух входящих в нее множеств в эту систему входят их объединение, пересечение и разность. Множество X называется единицей системы множеств, если оно входит в эту систему, а все остальные множества системы являются подмножествами X . Кольцо множеств, содержащее единицу, называется алгеброй множеств [29, с.38].

Теорема 7.2. Пусть W — алгебра множеств, $d: W^2 \rightarrow R^1$. Тогда аксиома 1 эквивалентна следующему условию: $d(A, B) = d(A \setminus B, B \setminus A)$ для любых $A, B \in W$.

Доказательство. Поскольку

$$(A \setminus B) \cap (A \cap B) = \emptyset, (B \setminus A) \cap (A \cap B) = \emptyset.$$

то равенство $d(A, B) = d(A \setminus B, B \setminus A)$ следует из аксиомы 1. Обратное утверждение вытекает из того, что в условиях аксиомы 1

$$(A \cup C) \setminus (B \cup C) = A \setminus B, (B \cup C) \setminus (A \cup C) = B \setminus A.$$

Теорема 7.2 доказана.

С целью внести в алгебру множеств W отношение «находиться между», аналогичное используемому при аксиоматическом введении расстояний в пространствах бинарных отношений (см. условие (II) в теореме 1), примем следующую аксиому.

Аксиома 7.2. Если B лежит между A и C , то $d(A, B) + d(B, C) = d(A, C)$.

Определение 7.4. Неотрицательная функция μ , определенная на алгебре множеств W , называется мерой, если для любых двух непересекающихся множеств A и B из W справедливо соотношение

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B).$$

Понятие меры — это обобщение понятий длины линии, площади фигуры, объема тела.

Теорема 7.3. Пусть W — алгебра множеств, аксиомы 1 и 2 выполнены для функции $d: W^2 \rightarrow [0; +\infty]$. Функция d симметрична: $d(A, B) = d(B, A)$ для любых A и B из W . Тогда существует, и притом единственная, мера μ на W такая, что

$$d(A, B) = \mu(A \Delta B). \quad (7.1)$$

при всех A и B из W , где $A \Delta B$ — симметрическая разность множеств A и B , то есть $A \Delta B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A)$.

Доказательство. Положим

$$\mu(B) = d(\emptyset, B), B \in W. \quad (7.2)$$

Покажем, что определенная формулой (7.2) функция множества μ является мерой. Неотрицательность μ следует из неотрицательности d . Остается доказать аддитивность, то есть что из $A \cap B = \emptyset$ следует, что

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B), A \in W, B \in W. \quad (7.3)$$

Поскольку A всегда лежит между \emptyset и $A \cup B$, то по аксиоме 7.2

$$\mu(A \cup B) = d(\emptyset, A \cup B) = d(\emptyset, A) + d(A, A \cup B) = \mu(A) + d(A, A \cup B). \quad (7.4)$$

Если $A \cap B = \emptyset$, то по аксиоме 1 $d(\emptyset, B) = d(A, A \cup B)$, откуда с учетом (7.4) и следует (7.3).

Докажем соотношение (7.1). Поскольку $A \setminus B$ и $B \setminus A$ имеют пустое пересечение, то согласно определению 7.2 пустое множество \emptyset лежит между $A \setminus B$ и $B \setminus A$. Поэтому по аксиоме 7.2

$$d(A \setminus B, B \setminus A) = d(A \setminus B, \emptyset) + d(\emptyset, B \setminus A).$$

Из симметричности и соотношения (7.2) следует, что

$$d(A \setminus B, \emptyset) = d(\emptyset, A \setminus B) = \mu(A \setminus B).$$

откуда $d(A \setminus B, B \setminus A) = \mu(A \setminus B) + \mu(B \setminus A)$. Из соотношения (7.3) следует, что $\mu(A \setminus B) + \mu(B \setminus A) = \mu(A \Delta B)$. С другой стороны, по аксиоме 7.2

$$d(A \setminus B, B \setminus A) = d(A \setminus B) \cup (A \cap B), (B \setminus A) \cup (A \cap B) = d(A, B)$$

Из трех последних равенств вытекает справедливость равенства (7.1).

Остается доказать единственность меры μ в соотношении (7.1). Поскольку $A \Delta B = B$ при $A = \emptyset$, то из (7.1) следует (7.2), то есть однозначность определения меры $\mu = \mu(d)$ по расстоянию d . Теорема 7.3 доказана.

Теорема 7.4 (обратная). Пусть μ — мера, определенная на алгебре множеств \mathcal{W} . Тогда функция $d(A, B) = \mu(A \Delta B)$ является псевдометрикой, для нее выполнены аксиомы 7.1 и 7.2.

Доказательство. То, что функция $d(A, B)$ из (7.1) задает псевдометрику, хорошо известно (см., например, [56, с. 79]). Доказательство аксиомы 7.2 содержится в [41, с. 181—183]. Аксиома 7.1 следует из того, что условия $A \cap C = B \cap C = \emptyset$ обеспечивают справедливость соотношений

$$(A \cup C) \Delta (B \cup C) = (A \cup C) \setminus (B \cup C) \cup (B \cup C) \setminus (A \cup C) = (A \setminus B) \cup (B \setminus A) = A \Delta B$$

Замечание. Полагая в аксиоме 7.2 $A = B = C$, получаем, что $+ + d(A, A) = d(A, A)$, то есть $d(A, A) = 0$. Согласно теоремам 7.3 и 7.4, из условий теоремы 7.3 следует неравенство треугольника. Таким образом, в теореме 7.3 действительно приведена система аксиом, определяющая семейство псевдометрик в пространстве множеств.

Обсудим независимость (друг от друга) условий теоремы 7.3. Отбрасывание неотрицательности функции d приводит к тому, что слово «мера» в теоремах 7.3 и 7.4 необходимо заменить на «заряд» [29, с. 328]. Этот термин обозначает аддитивную функцию множеств, не обладающую свойством неотрицательности. Заряд можно представить как разность двух мер.

Функция $d_1(A, B) = \sqrt{\mu(A \Delta B)}$ является псевдометрикой, для нее выполнена аксиома 7.1, но не выполнена аксиома 7.2, следовательно, ее нельзя представить в виде (7.1).

Приведем пример системы множеств \mathcal{W} и метрики в ней, для которых верна аксиома 7.2, но не верна аксиома 7.1, а потому эту метрику нельзя представить в виде (7.1). Пусть \mathcal{W} состоит из множеств $\emptyset, A, B, A \cup B$, причем $A \cap B = \emptyset$, а расстояния таковы:

$$d(\emptyset, A) = d(\emptyset, B) = 1, d(A, A \cup B) = d(B, A \cup B) = d(A, B) = 2, d(\emptyset, A \cup B) = 3.$$

Если единица X алгебры множеств \mathcal{W} конечна, то есть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$, то расстояние (7.1) принимает вид

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^k \mu_i |\chi_A(x_i) - \chi_B(x_i)|, \quad (7.5)$$

где χ_C — индикатор (индикаторная функция) множества C , то есть $\chi_C(x) = 1$, если $x \in C$, и $\chi_C(x) = 0$ в противном случае. Как следует из теоремы 3, неотрицательный коэффициент μ_i — это мера одноэлементного множества $\{x_i\}$, а также расстояние этого множества от пустого множества, то есть

$$\mu_i = \mu(\{x_i\}) = d(\emptyset, \{x_i\}).$$

Если все коэффициенты μ_i положительны, то формула (7.5) определяет метрику, если хотя бы один равен 0, то — псевдометрику, поскольку в таком случае найдутся два различающиеся между собой множества A и B такие, что $d(A, B) = 0$.

Расстояние определяется однозначно, если априори известны коэффициенты μ_i . В частности, равноправность объектов (элементов единицы алгебры множеств X) приводит к $\mu_i = 1$. Требование равноправности содержится в аксиомах 2 и 4 Кемени [24, с. 21—22].

Применим полученные результаты к толерантностям и докажем теорему 7.1. Совокупность всех толерантностей, определенных на конечном множестве Y , естественным образом ассоциируется с совокупностью всех подмножеств множества $X = \{(y_i, y_j), 1 < i < j < k\}$. Именно, пара (y_i, y_j) входит в подмножество тогда и только тогда, когда y_i и y_j связаны отношением толерантности. Указанная совокупность подмножеств является алгеброй множеств с единицей X . Определение 7.2 понятия «находиться между» для множеств полностью соответствует ранее данному определению понятия «находиться между» для толерантностей.

Теорема 7.5. Пусть выполнены условия (I) и (II) теоремы 7.1 и аксиома 7.1. Тогда существуют числа $\mu_{ij} > 0$ такие, что

$$d(A, B) = \sum_{1 \leq i < j \leq k} \mu_{ij} |a(i, j) - b(i, j)| \quad (7.6)$$

Для доказательства достаточно сослаться на теорему 7.3. Поскольку в условии (I) требуется, чтобы функция $d(A, B)$ являлась метрикой, то необходимо $\mu_{ij} > 0$.

Теорема 7.7. Пусть выполнены условия теоремы 7.1 и, кроме того, аксиома 7.1. Тогда верно заключение теоремы 7.1.

Доказательство. Рассмотрим толерантность A , для которой $a(i, j) = 1$ при $(i, j) = (i_0, j_0)$ и $a(i, j) = 0$ в противном случае. Согласно условию (III) теоремы 7.1 $d(\emptyset, A) = 1$, а согласно (7.6) имеем $d(\emptyset, A) = \mu_{i_0 j_0}$. Следовательно, коэффициент $\mu_{i_0 j_0} = 1$, что и требовалось доказать.

Для окончательного доказательства теоремы 7.1 осталось избавиться от требования справедливости аксиомы 7.1.

Доказательство теоремы 7.1. Рассмотрим две толерантности A и B такие, что при представлении их в виде множеств $A \subseteq B$. Это оз-

начает, что $a(i, j) \leq b(i, j)$ при всех i, j . Поскольку X — конечное множество, то существует конечная последовательность толерантностей $A_1, A_2, \dots, A_m, \dots, A_t$ такая, что $A_1 = A, A_t = B, A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \subseteq A_m \subseteq \dots \subseteq A_t$, причем A_{m+1} получается из A_m заменой ровно одного значения $a_m(i_m, j_m) = 0$ на $a_{m+1}(i_m, j_m) = 1$, для $(i, j) \neq (i_m, j_m)$ при этом $a_m(i, j) = a_{m+1}(i, j)$. Тогда A_m находится между A_{m-1} и A_{m+1} , следовательно, по условию (II)

$$d(A, B) = d(A_1, A_2) + d(A_2, A_3) + \dots + d(A_m, A_{m+1}) + \dots + d(A_{t-1}, A_t).$$

По условию (III) $d(A_m, A_{m+1}) = 1$ при всех m , а потому заключение теоремы 7.1 верно для любых A и B таких, что $A \subseteq B$.

Поскольку $A \cap B$ лежит между A и B , то по условию (II)

$$d(A, B) = d(A \cap B, A) + d(A \cap B, B).$$

При этом $A \cap B \subseteq A$ и $A \cap B \subseteq B$. Применяя результат предыдущего абзаца, получаем: заключение теоремы 7.1 верно всегда.

Замечание 7.1. Таким образом, условие (III) не только дает нормировку, но и заменяет аксиому 7.1.

Замечание 7.2. Условие (I) теоремы 7.1 не использовалось в доказательстве, но было приведено в первоначальной публикации [82], чтобы подчеркнуть цель рассуждения. По той же причине оно сохранено в формулировке теоремы 7.1, хотя в доказательстве удалось без него обойтись. Понадобилась только симметричность функции d .

Аксиоматическое введение метрики в пространстве неотрицательных суммируемых функций. Рассмотрим пространство $L(E, \mu)$ неотрицательных суммируемых функций на множестве E с мерой μ . Далее до конца настоящего раздела будем рассматривать только функции из пространства $L(E, \mu)$. Интегрирование всюду проводится по множеству (пространству) E и по мере μ . Будем писать $g = h$ или $g < h$, если указанные соотношения справедливы почти всюду по μ на E (то есть могут нарушаться лишь на множестве нулевой меры).

Аксиоматически введем расстояние в пространстве $L(E, \mu)$ (изложение следует работе [100]). Обозначим $M(g, h) = \max(g, h)$ и $m(g, h) = \min(g, h)$. Пусть функция $D: L(E, \mu) \times L(E, \mu) \rightarrow R^1$ — тот основной объект изучения, аксиомы для которого будут сейчас сформулированы.

Аксиома 7.3. Если $gh = 0, g + h \neq 0$, то $D(g, h) = 1$.

Аксиома 7.4. Если $h < g$, то $D(g, h) = C \int (g - h) d\mu$, где множитель C не зависит от h , то есть $C = C(g)$.

Лемма. Из аксиом 7.3, 7.4 следует, что для $h < g \neq 0$

$$D(g, h) = \frac{\int (g - h) d\mu}{\int g d\mu}.$$

Для доказательства заметим, что по аксиоме 7.3 $D(g, 0) = 1$, а по аксиоме 7.4 $D(g, 0) = C \int g d\mu$, откуда $C = (\int g d\mu)^{-1}$. Подставляя это соотношение в аксиому 7.4, получаем заключение леммы.

Требование согласованности расстояния в пространстве $L(E, \mu)$ с отношением «находиться между» приводит, как и ранее для расстояния $d(A, B)$, к следующей аксиоме.

Аксиома 7.5. Для любых g и h справедливо равенство $D(g, h) = D(M(g, h), g) + D(M(g, h), h)$.

Замечание. В ряде реальных ситуаций естественно считать, что наибольшее расстояние между элементами пространства множеств (которое без ограничения общности можно положить равным 1), то есть наибольшее несходство, соответствует множествам, не имеющим общих элементов. Расстояние, введенное в теореме 7.3 (формула (7.1)), этому условию не удовлетворяет. Поэтому в пространстве множеств была аксиоматически введена [111] так называемая D -метрика (от *dissimilarity* (англ.) — несходство), для которой это условие выполнено. Она имеет вид:

$$D(A, B) = \begin{cases} \frac{\mu(A \Delta B)}{\mu(A \cup B)}, & \mu(A \cup B) > 0, \\ 0, & \mu(A) = \mu(B) = 0. \end{cases} \quad (7.7)$$

Приведенные выше аксиомы являются обобщениями соответствующих аксиом для D -метрики в пространстве множеств.

Теорема 7.7. Из аксиом 7.3—7.5 следует, что

$$D(g, h) = \begin{cases} \frac{\int |g - h| d\mu}{\int M(g, h) d\mu}, & g + h \neq 0, \\ 0, & g = h = 0. \end{cases} \quad (7.8)$$

Доказательство. Поскольку

$$(M(g, h) - g) + (M(g, h) - h) = |g - h|,$$

то заключение теоремы 7.7 при $g + h \neq 0$ вытекает из леммы и аксиомы 7.5. Из аксиомы 7.4 при $g = 0$ следует, что $D(0, 0) = 0$. Легко видеть, что функция D , заданная формулой (7.8), удовлетворяет аксиомам 7.3—7.5 и, кроме того, $D(g, h) \leq 1$ при любых g и h .

Замечание. Если g и h — индикаторные функции множеств, то формула (7.8) переходит в формулу (7.7). Если g и h — функции принадлежности нечетких множеств, то формула (8) задает метрику в пространстве нечетких множеств, а именно, D -метрику в этом пространстве [111].

Теорема 7.8. Функция $D(g, h)$, определенная формулой (7.8), является метрикой в $L(E, \mu)$ (при отождествлении функций, отличающихся

лишь на множестве нулевой меры), причем $D(g, f) + D(f, h) = D(g, h)$ тогда и только тогда, когда $f = g, f = h$ или $f = M(g, h)$.

Доказательство. Обратимся к определению метрики. Для рассматриваемой функции непосредственно очевидна справедливость условий неотрицательности и симметричности. Очевидна и эквивалентность условия $D(g, h) = 0$ равенству $g = h$. Остается доказать неравенство треугольника и установить, когда оно обращается в равенство.

Без ограничения общности можно считать, что рассматриваемые расстояния задаются верхней строкой формулы (7.8) и, кроме того,

$$R = \int M(g, f) d\mu - \int M(f, h) d\mu > 0$$

(частные случаи с использованием нижней строки формулы (7.8) рассматриваются элементарно, а справедливости последнего неравенства можно добиться заменой обозначений функций — элементов пространства $L(E, \mu)$). Тогда

$$D(g, f) + D(f, h) \geq \frac{\int (|g - f| + |f - h|) d\mu}{\int M(g, f) d\mu}. \quad (7.9)$$

причем равенство имеет место тогда и только тогда, когда $R = 0$ или $f = h$. Положим

$$P = \int (|g - f| + |f - h| - |g - h|) d\mu, \quad Q = \int (M(g, f) - M(g, h)) d\mu.$$

Ясно, что $P \geq 0$ и

$$\frac{\int (|g - f| + |f - h|) d\mu}{\int M(g, f) d\mu} = \frac{\int (|g - h|) d\mu + P}{\int M(g, f) d\mu + Q}. \quad (7.10)$$

Если $Q < 0$, то, очевидно, неравенство треугольника выполнено, причем неравенство является строгим. Рассмотрим случай $Q > 0$.

Воспользуемся следующим элементарным фактом: если $y \geq x$, $y > 0$, $P > Q > 0$, то

$$\frac{x + P}{y + Q} > \frac{x}{y}. \quad (7.11)$$

Из соотношений (7.10) и (7.11) вытекает, что для доказательства неравенства треугольника достаточно показать, что $P - Q > 0$.

Рассмотрим

$$k = \{|g - f| + |f - h| - |g - h|\} - M(g, f) + M(g, h).$$

Применяя равенство $(M(g, h) - g) + (M(g, h) - h) = |g - h|$ к слагаемым, заключенным в фигурные скобки, получаем, что

$$k = M(f, h) + [M(g, f) + M(f, h) - M(g, h) - 2f].$$

Применяя соотношение

$$M(g, h) = g + h - m(g, h) \quad (7.12)$$

к слагаемым, заключенным в квадратные скобки, получаем, что

$$k = M(f, h) - m(f, h) - m(g, f) + m(g, h).$$

Так как $M(f, h) - m(f, h) = |f - h|$, то

$$k = |f - h| - (m(g, f) - m(g, h)) \geq (f - h) - (m(g, f) - m(g, h)). \quad (7.13)$$

В соответствии с (7.12) правая часть (7.13) есть $M(g, f) - M(g, h)$, а потому

$$P - Q = \int k d\mu \geq Q > 0,$$

что завершает доказательство для случая $Q > 0$. При этом неравенство треугольника является строгим.

Осталось рассмотреть случай $Q = 0$. В силу соотношений (7.9) и (7.10) неравенство треугольника выполнено. Когда оно обращается в равенство? Тривиальные случаи: $f = g$ или $f = h$. Если же f отлично от g и h , то необходимо, чтобы $R = 0$ и $P = 0$. Как легко проверить, последнее условие эквивалентно неравенствам

$$m(g, h) \leq f \leq M(g, h). \quad (7.14)$$

Из правого неравенства в (7.14) следует, что $M(g, f) \leq M(g, M(g, h)) = M(g, h)$. Так как $Q = 0$, то $M(g, f) = M(g, h)$. Аналогичным образом из соотношений

$$M(h, f) \leq M(h, M(g, h)) = M(g, h) = M(g, f)$$

и $R = 0$ следует, что $M(f, h) = M(g, h)$.

Рассмотрим измеримое множество $X = \{x \in E: h(x) < g(x)\}$. Тогда $M(g, h)(x) = M(f, h)(x) = g(x) > h(x)$, то есть $h(x) < f(x) = M(g, h)(x)$ для почти всех $x \in X$. Для почти всех $y \in \{x \in E: h(x) > g(x)\}$ точно так же получаем $f(y) = M(g, h)(y)$. Для почти всех $z \in \{x \in E: h(x) = g(x)\}$ в силу (7.14) $f(z) = M(g, h)(z)$, что и завершает доказательство теоремы.

Замечание. Назовем функции g и h подобными, если существует число $b > 0$ такое, что $g = bh$. Тогда при $0 < b \leq 1$ имеем $D(g, h) = 1 - b$, то есть расстояние между подобными функциями линейно зависит от коэффициента подобия. Далее, пусть $a > 0$, тогда $D(ag, ah) = D(g, h)$. Таким образом, метрика (7.8) инвариантна по отношению к преобразованиям подобия, которые образуют группу допустимых преобразований в шкале отношений. Это дает основания именовать метрику (7.8) метрикой подобия [100].

Расстояния в различных пространствах статистических и экспертных данных, используемых в задачах принятия решений, рассмотрены в статье [81].

7.4. СВОЙСТВА МЕДИАНЫ КЕМЕНИ

Иногда пытаются противопоставить дискретные методы анализа экспертных оценок и вероятностно-статистические методы анализа экспертных оценок. Исходят из того, что во втором случае используются те или иные вероятностно-статистические модели, а в первом — только детерминированные. Мы полагаем, что речь идет о двух разных этапах изучения ситуации. Начать естественно с детерминированного анализа конкретных экспертных данных, разработать методы расчетов и получения выводов (заключений о данных). А затем изучить свойства этих методов расчета и получения выводов, используя вероятностно-статистические модели. Если мы хотим перенести выводы с конкретной выборки на генеральную совокупность, нам не обойтись без вероятностно-статистических моделей (подробнее см. [76, 92]).

Компьютерное изучение свойств медианы Кемени при конечных объемах выборок. С помощью специально разработанной программной системы В.Н. Жихаревым проведен ряд серий численных экспериментов по изучению свойств выборочных медиан Кемени. Представление о полученных результатах дает табл. 7.2, взятая из статьи [18].

Таблица 7.2

Вычислительный эксперимент по изучению свойств медианы Кемени

| Номер серии | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Число испытаний | 100 | 1 000 | 50 | 50 | 1 000 | 1 000 |
| Количество объектов | 5 | 5 | 7 | 7 | 5 | 5 |
| Количество экспертов | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 10 |
| Частота непустого пересечения | 0,85 | 0,58 | 0,52 | 0,2 | 0,786 | 0,911 |
| Среднее отношение диаметров | 0,283 | 0,124 | 0,191 | 0,0892 | 0,202 | 0,0437 |
| Средняя мощность медианы | 5,04 | 2,41 | 6,4 | 2,88 | 3,51 | 1,35 |
| Максимальная. мощность медианы | 30 | 14 | 19 | 11 | 40 | 12 |

В каждой из 6 серий методом статистических испытаний определенное число раз моделировался случайный и независимый выбор экспертных ранжировок, а затем находились все медианы Кемени для смоделированного набора мнений экспертов. При этом в сериях 1—5 распределение ответа эксперта предполагалось равномерным на множестве всех ранжировок.

В серии 6 это распределение являлось монотонным относительно расстояния Кемени с некоторым центром, то есть вероятность выбора определенной ранжировки убывала с увеличением расстояния Кемени этой ранжировки от центра.

Определение 7.5. Распределение бинарного отношения X называется монотонным с центром в C_0 относительно расстояния (показателя различия) d , если из $d(C, C_0) < d(D, C_0)$ следует, что $P(X = C) > P(X = D)$.

Это определение впервые введено в монографии [89, с. 196]. Оно может использоваться в любых пространствах бинарных отношений и, более того, в любых пространствах из конечного числа элементов, лишь бы в них была введена функция $d(C, D)$ — показатель различия элементов C и D этого пространства. Монотонное распределение унимодально, мода находится в C_0 .

Таким образом, серии 1—5 соответствуют ситуации, когда у экспертов нет почвы для согласия, нет группировки их мнений относительно некоторого единого среднего группового мнения, в то время как в серии 6 есть единое мнение — описанный выше центр, к которому тяготеют ответы экспертов.

Обсуждение результатов. Результаты, приведенные в табл. 7.2, можно комментировать разными способами. Неожданным явилось большое число элементов в выборочной медиане Кемени — как среднее, так и особенно максимальное. Одновременно обращает на себя внимание убывание этих чисел при росте числа экспертов и особенно при переходе к ситуации реального существования группового мнения (серия 6). Достаточно часто один из ответов экспертов входит в медиану Кемени (то есть пересечение множества ответов экспертов и медианы Кемени непусто), а диаметр медианы как множества в пространстве ранжировок заметно меньше диаметра множества ответов экспертов. По этим показателям — наилучшее положение в серии 7. Грубо говоря, всяческие «патологии» в поведении медианы Кемени наиболее резко проявляются в ситуации, когда ее применение не имеет содержательного обоснования, то есть когда у экспертов нет основы для согласия, их ответы равномерно распределены на множестве ранжировок.

Увеличение числа испытаний в 10 раз при переходе от серии 1 к серии 5 не очень сильно повлияло на приведенные в таблице характеристики, поэтому представляется, что суть дела выявляется при числе испытаний (в методе Монте-Карло), равном 100 или даже 50. Увеличение числа объектов или экспертов увеличивает число элементов в рассматриваемом пространстве ранжировок, а потому уменьшается частота попадания какого-либо из мнений экспертов внутрь медианы Кемени. А также отношение диаметра медианы к диаметру множества экспертов и число элементов медианы Кемени (среднее и максимальное). Можно сказать, что увеличение числа объектов или экспертов уменьшает степень дискретности задачи, приближает

ее к непрерывному случаю, а потому уменьшает выраженность различных «патологий».

Есть много интересных результатов (здесь они не рассматриваются), связанных, в частности, со сравнением медианы Кемени с другими методами усреднения мнений экспертов, например с нахождением итогового упорядочения по методу средних рангов. А также с использованием малых окрестностей ответов экспертов для поиска входящих в медиану ранжировок, с теоретической и численной оценкой скорости сходимости в законах больших чисел.

Для медианы Кемени справедливы законы больших чисел [71, 85].

7.5. КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ И КОНКОРДАЦИИ

Термин «корреляция» означает «связь». Применительно к анализу данных этот термин обычно используется в сочетании «коэффициент корреляции». Рассмотрим линейный и непараметрические парные коэффициенты корреляции.

Обсудим способы измерения связи между двумя случайными переменными. Пусть исходными данными является набор случайных векторов $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega))$, $i = 1, 2, \dots, n$. Выборочным коэффициентом корреляции, более подробно, выборочным линейным парным коэффициентом корреляции К. Пирсона, как известно, называется число

$$r_n = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}.$$

Если $r_n = 1$, то $y_i = ax_i + b$ при некоторых a и b , причем $a > 0$. Если же $r_n = -1$, то $y_i = ax_i + b$, причем $a < 0$. Таким образом, близость коэффициента корреляции к 1 (по абсолютной величине) говорит о достаточно тесной линейной связи.

Если случайные вектора $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega))$, $i = 1, 2, \dots, n$ независимы и одинаково распределены, то выборочный коэффициент корреляции сходится к теоретическому при безграничном возрастании объема выборки:

$$r_n \rightarrow \rho = \frac{M(x_1 - M(x_1))(y_1 - M(y_1))}{\sqrt{D(x_1)}\sqrt{D(y_1)}}$$

(сходимость по вероятности в предположении, что существуют дисперсии координат случайного вектора).

Более того, выборочный коэффициент корреляции является асимптотически нормальным. Это означает, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{r_n - \rho}{\sqrt{D_0(r_n)}} < x\right) = \Phi(x),$$

где $\Phi(x)$ — функция стандартного нормального распределения с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1, а $D_0(r_n)$ — асимптотическая дисперсия выборочного коэффициента корреляции. Она имеет довольно сложное выражение, приведенное в классической монографии Г. Крамера [30, с. 393]:

$$D_0(r_n) = \frac{\rho^2}{4n} \left(\frac{\mu_{40}}{\mu_{20}^2} + \frac{\mu_{04}}{\mu_{02}^2} + \frac{2\mu_{22}}{\mu_{20}\mu_{02}} + \frac{4\mu_{22}}{\mu_{11}^2} - \frac{4\mu_{31}}{\mu_{11}\mu_{20}} - \frac{4\mu_{13}}{\mu_{11}\mu_{02}} \right).$$

Здесь под μ_{km} понимаются теоретические центральные моменты порядка k и m , а именно:

$$\mu_{km} = M\{(x_1 - M(x_1))^k (y_1 - M(y_1))^m\}.$$

Коэффициенты корреляции типа r_n используются во многих алгоритмах многомерного статистического анализа.

В теоретических рассуждениях часто считают, что случайные вектора $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega))$, $i = 1, 2, \dots, n$, имеют двумерное нормальное распределение. Распределения реальных данных, как правило, отличны от нормальных [76, 92]. Почему же распространено представление о двумерном нормальном распределении? Дело в том, что теория в этом случае проще. В частности, равенство 0 теоретического коэффициента корреляции эквивалентно независимости случайных величин. Поэтому проверка независимости сводится к проверке статистической гипотезы о равенстве 0 теоретического коэффициента корреляции. Эта гипотеза принимается, если $|r_n| < C(n, \alpha)$, где $C(n, \alpha)$ — некоторое граничное значение, зависящее от объема выборки n и уровня значимости α .

Если предположение о двумерной нормальности не выполнено, то из равенства 0 теоретического коэффициента корреляции не вытекает независимость случайных величин. Нетрудно построить пример случайного вектора, для которого коэффициент корреляции равен 0, но координаты зависимы. Кроме того, для проверки гипотез о коэффициенте корреляции в общем случае, строго говоря, нельзя пользоваться таблицами, рассчитанными в весьма частном предположении нормальности. Можно построить правила принятия решений на основе асимптотической нормальности выборочного коэффициента корреляции. Но есть и другой путь — перейти к непараметрическим коэффициентам корреляции, одинаково пригодным при любом непрерывном распределении случайного вектора.

Для расчета непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена необходимо сделать следующее. Для каждого x_i рассчитать его ранг r_i в вариационном ряду, построенном по выборке x_1, x_2, \dots, x_n . Для каждого y_i рассчитать его ранг q_i в вариационном ряду, построенном по выборке y_1, y_2, \dots, y_n . Для набора из n пар (r_i, q_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, вычислить линейный коэффициент корреляции. Он называется коэффициентом ранговой корреляции, поскольку определяется через ранги. В качестве примера рассмотрим данные из табл. 7.3.

Таблица 7.3

Данные для расчета коэффициентов корреляции

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------|---|----|----|----|-----|
| x_i | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| y_i | 6 | 7 | 30 | 81 | 300 |
| r_i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| q_i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Для данных таблицы 7.3 коэффициент линейной корреляции равен 0,83, непосредственной линейной связи нет. А вот коэффициент ранговой корреляции равен 1, поскольку увеличение одной переменной однозначно соответствует увеличению другой переменной. Во многих экономических задачах, например при выборе инвестиционных проектов, достаточно именно монотонной зависимости одной переменной от другой.

Поскольку суммы рангов и их квадратов нетрудно подсчитать, то коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен

$$\rho_n = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (r_i - q_i)^2}{n^3 - n}.$$

Отметим, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена остается постоянным при любом строго возрастающем преобразовании шкалы измерения результатов наблюдений. Другими словами, он является адекватным в порядковой шкале (см. главу 4), как и другие ранговые статистики, например статистики Вилкоксона, Смирнова, типа омега-квадрат для проверки однородности независимых выборок [76, 92].

Широко используется также коэффициент ранговой корреляции τ Кендалла, коэффициент ранговой конкордации Кендалла и Б. Смита и др. Наиболее подробное обсуждение этой тематики содержится в монографии [26], необходимые для практических расчетов таблицы имеются в справочнике [6]. Дискуссия о выборе вида коэффициентов корреляции продолжается до настоящего времени [31].

Замечание. Известный английский статистик *M. G. Kendall* известен в нашей стране как Кендалл (в книгах, выпущенных издательствами «Наука» и «Мир») и Кендэл (в книгах издательства «Финансы и статистика»). Мы придерживаемся первого написания.

Коэффициент ранговой корреляции Кендалла определяется так [26]. Пусть N — количество тех упорядоченных пар индексов (i, j) , $i < j$, для которых эксперты одинаково упорядочивают объекты, то есть для которых либо одновременно $r_i < r_j$, $q_i < q_j$, либо одновременно $r_i > r_j$, $q_i > q_j$. Тогда

$$\tau = \frac{4N}{n(n-1)} - 1.$$

Если экспертные упорядочения совпадают, то коэффициент ранговой корреляции Кендалла принимает максимальное значение $\tau = 1$. Именно так обстоит дело для данных, приведенных в табл. 7.3. Если эксперты дают прямо противоположные упорядочения, их мнения противоречат друг другу для любой пары объектов, то коэффициент ранговой корреляции Кендалла минимален, $\tau = -1$.

Если экспертов $m > 2$, то данные ими m упорядочений можно записать в виде матрицы, i -я строка которой содержит ранжировку, полученную от i -го эксперта, а столбцы соответствуют n объектам экспертизы, рассматриваемым в данном исследовании:

$$\begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \dots & r_{m,n} \end{pmatrix} \quad (7.15)$$

В фундаментальном справочнике [6] используется более общая терминология. Вместо ранжировки, полученной от i -го эксперта, рассматривается ранжировка по i -му признаку.

Более подробно в [6] рассматривается «совокупность индивидуумов, обладающих таким признаком, который, может быть, и не поддается точной количественной оценке, однако позволяет сравнивать индивидуумы друг с другом. Таким образом, в результате подобного сравнения всю совокупность можно «ранжировать», приписав каждому индивидууму порядковый номер, соответствующий итогам сравнения с другими индивидуумами. Если индивидуумы могут обладать не одним, а двумя признаками, то для исследования их влияния друг на друга обычно рассматривают выборку из n независимых индивидуумов и каждому индивидууму приписывают два порядковых номера в соответствии с «ранжировками» по обоим признакам» [6, табл. 7.10].

Эта подробная цитата приведена для того, чтобы показать, что одна и та же математическая сущность может быть описана с помощью весьма различающихся слов. Для «перевода» необходимо заменить «индивидуума» на «объект экспертизы», а «признак» — на «мнение эксперта».

В качестве единой выборочной меры связи m признаков Кендалл и Бэбингтон Смит предложили коэффициент согласованности W , называемый также коэффициентом конкордации (от лат. *concordare* — привести в соответствие, упорядочить):

$$W = \frac{12S_W}{m^2(n^3 - n)},$$

где

$$S_W = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m r_{i,j} - \frac{m(n+1)}{2} \right]^2.$$

Можно показать, что среднее арифметическое коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ρ для $m(m-1)/2$ пар признаков равно $(mW-1)/(m-1)$. В частности, если $m = 2$, то $\rho = 2W-1$.

Все три коэффициента $|\rho|$, $|\tau|$ и W принимают значения из отрезка $[0; 1]$ и используются для проверки нулевой гипотезы H_0 о независимости признаков. Признаки называются независимыми, если для наугад выбранного столбца матрицы (7.15) ранги (порядковые номера) $r_{1,j}, r_{2,j}, \dots, r_{m,j}$ являются взаимно независимыми случайными величинами. В терминах теории экспертных оценок гипотеза H_0 — это гипотеза о том, что случайные ранжировки независимы и равномерно распределены на множестве всех ранжировок (без связей).

Если рассматриваемый коэффициент ($|\rho|$, $|\tau|$ или W) не превосходит заданного граничного значения, то гипотеза H_0 принимается, если превосходит — отклоняется в пользу альтернативной гипотезы общего вида, то есть гипотезы о том, что совместное распределение ранжировок отличается от совместного распределения независимых одинаково распределенных ранжировок. При этом остается неизвестным, нарушается ли предположение независимости, или предположение равномерности распределения, или и то, и другое вместе. Например, нулевая гипотеза отклоняется, если все эксперты повторяют ответ первого из них, но сам этот ответ равномерно распределен. Или тогда, когда половина экспертов выбирает одну определенную ранжировку или похожие на нее, а вторая половина экспертов — другую определенную ранжировку (или похожую на нее). В этом случае нет равномерности распределения, и нулевая гипотеза отклоняется, хотя говорить о согласованности экспертов не приходится. Если же нулевая гипотеза принимается, то ни о какой согласованности мнений экспертов говорить нельзя.

Распределения коэффициентов ($|\rho|$, $|\tau|$ или W) — дискретные, граничные значения зависят от числа объектов экспертизы n , числа экспертов m и уровня значимости α . Распределения коэффициентов ранговой корреляции $|\rho|$ и $|\tau|$ и коэффициента согласованности (конкордации) W приведены в [6, 26].

Если гипотеза H_0 верна, то

$$M(\rho) = 0, M(\tau) = 0, M(W) = \frac{1}{m},$$

$$D(\rho) = \frac{1}{n-1}, D(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}, D(W) = \frac{2(m-1)}{m^3(n-1)}.$$

Распределения коэффициентов ранговой корреляции ρ и τ и коэффициента согласованности (конкордации) W являются асимптотически нормальными, причем с приведенными выше значениями математических ожиданий и дисперсий. Как отмечено в [6], асимптотической нормальностью распределений коэффициентов ранговой корреляции ρ и τ можно пользоваться для вычисления их критических значений при $n > 10$. В то же время коэффициент согласованности (конкордации) W распределен асимметрично, для него сходимость распределения к нормальному закону медленнее, чем для коэффициентов ранговой корреляции ρ и τ , и в [6] рекомендуется использовать аппроксимацию бета-распределением (В-распределением).

Подробнее о ранговой корреляции и ее применениях, о мощностях критериев некоррелированности признаков, о предельных теоремах и т.п. см. монографии [7, 26]. Полезная информация собрана в [112], хотя эта статья и содержит некоторые неаккуратные (с математической точки зрения) формулировки.

Пример 7.13. Необходимо определить степень согласованности мнения пяти экспертов ($m = 5$), результаты ранжирования которыми семи объектов ($n = 7$) приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Данные для оценки согласованности мнений пяти экспертов

| Номер объекта экспертизы | Оценка эксперта | | | | | Сумма рангов | Отклонение от среднего | Квадрат отклонения |
|--------------------------|-----------------|---|---|---|---|--------------|------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 4 | 6 | 4 | 4 | 3 | 21 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 15 | −5 | 25 |
| 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 9 | 11 | 121 |
| 4 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 28 | 8 | 64 |
| 5 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 7 | −13 | 169 |
| 6 | 5 | 4 | 5 | 6 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 35 | 15 | 225 |

Рассчитаем среднее арифметическое рангов:

$$\frac{m(n+1)}{2} = \frac{5(7+1)}{2} = 20.$$

Затем рассчитаем сумму квадратов отклонений сумм рангов по объектам экспертизы от их среднего арифметического:

$$S_W = \sum_{i=1}^7 \left[\sum_{j=1}^5 r_{i,j} - 20 \right]^2 = 630.$$

Определяем величину коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12 \times 630}{5^2 (7^3 - 7)} = 0,9.$$

Много это или мало? Если проведем соответствующие вычисления с помощью программного продукта *Statistica*, то получим значение достигаемого уровня значимости 0,00014. Это значит, что нулевая гипотеза отклоняется на любом из реально используемых в социально-экономических и технических исследованиях уровней значимости (то есть 0,05, 0,01 или 0,1), поскольку все они много больше достигаемого уровня значимости.

Достижимый уровень значимости — это случайная величина, равная вероятности попадания статистики критерия в критическую область, заданную рассчитанным по выборке значением статистики критерия. Для критической области вида $\{x: x > a\}$ достигаемый уровень значимости есть $F(X_n)$, где X_n — рассчитанное по выборке значение статистики критерия X , а $F(a) = P(X > a)$ — дополнение до 1 функции распределения статистики критерия X . Достижимый уровень значимости — это вероятность того, что статистика критерия X в новом независимом эксперименте примет значение большее, чем при расчете по конкретной выборке, то есть большее, чем X_n [92, приложение 1].

Нормированная и центрированная величина коэффициента конкордации W такова:

$$\frac{W - M(W)}{\sqrt{D(W)}} = \frac{W - \frac{1}{m}}{\sqrt{\frac{2(m-1)}{m^3(n-1)}}} = \frac{W - \frac{1}{5}}{\sqrt{\frac{2 \times 4}{125 \times 6}}} = \frac{W - 0,2}{0,1033} = 6,78.$$

Из асимптотической нормальности W вытекает тот же вывод, что и из расчетов с помощью пакета *Statistica*.

Расстояние Кемени и коэффициенты ранговой корреляции. Пусть A и B — две ранжировки (без связей). Рассмотрим относительное расстояние Кемени между ранжировками, то есть

$$d(A, B) = \frac{D(A, B)}{\max_{A, B} D(A, B)} = \frac{2 \sum_{1 \leq i < j \leq k} |a(i, j) - b(i, j)|}{k(k-1)}.$$

Относительное расстояние неотрицательно и не превосходит 1. Оно равно 1 только для пар противоположных упорядочений, для которых различны все элементы описывающих их матриц, кроме лежащих на главной диагонали.

Пусть $\tau(A, B)$ — коэффициент ранговой корреляции Кендалла между ранжировками A и B . Тогда

$$2d(A, B) + \tau(A, B) = 1.$$

Более того, единственная с точностью до постоянного множителя линейная функция от $\tau(A, B)$, задающая расстояние между ранжировками A и B , есть

$$d(A, B) = \frac{1 - \tau(A, B)}{2}.$$

При этом никакая линейная функция от коэффициента ранговой корреляции Спирмена $\rho(A, B)$ не задает расстояние между ранжировками.

Сформулированные здесь результаты получены в работе [33]. Они позволяют установить связь между двумя, казалось бы, совсем различными подходами к анализу экспертных мнений, выраженных ранжировками.

Математические методы теории принятия решений [71, 88] — обширная область математических методов экономики. Она весьма разветвлена. Мы рассмотрели лишь весьма малую ее часть. Например, здесь не была затронута такая частная подобласть, как применение теории нечетких множеств, в том числе нечетных экспертных оценок (см. [73, 88]). Отметим, что теория нечетких множеств в определенном смысле сводится к теории случайных множеств, а потому теорию нечетких множеств можно считать частью теории вероятностей [87].

Согласно новой парадигме математических методов экономики [67] центральным ядром прикладной математической статистики и вообще математических методов принятия управленческих решений, в том числе с использованием экспертных оценок, являются методы анализа нечисловой информации, прежде всего методы статистического анализа данных в пространствах нечисловой природы (то есть методы нечисловой статистики [72]). Именно поэтому основное внимание в настоящем учебнике уделено методам анализа тех или иных нечисловых данных.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем состоит проблема согласованности ответов экспертов?
2. Как бинарные отношения используются в экспертизах?
3. Как бинарные отношения описываются матрицами из 0 и 1?

4. Что такое расстояние Кемени и медиана Кемени?
5. Чем закон больших чисел для медианы Кемени отличается от «классического» закона больших чисел, известного в статистике?
6. Выпишите матрицу из 0 и 1, соответствующую бинарному отношению (кластеризованной ранжировке) $5 < \{1, 3\} < 4 < 2 < \{6, 7\}$.
7. Найдите расстояние Кемени между бинарными отношениями — упорядочениями $A = [3 < 2 < 1 < \{4, 5\}]$ и $B = [1 < \{2, 3\} < 4 < 5]$.
8. Дана квадратная матрица (порядка 9) попарных расстояний (мер различия) для множества бинарных отношений из 9 элементов $A_1, A_2, A_3, \dots, A_9$ (табл. 7.5). Найдите в этом множестве медиану для множества из 5 элементов $\{A_2, A_3, A_5, A_6, A_9\}$.

Таблица 7.5

**Попарные расстояния между бинарными отношениями,
условные единицы измерения**

| Элемент | A_1 | A_2 | A_3 | A_4 | A_5 | A_6 | A_7 | A_8 | A_9 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A_1 | 0 | 5 | 3 | 6 | 7 | 4 | 10 | 3 | 11 |
| A_2 | 5 | 0 | 5 | 6 | 10 | 3 | 2 | 5 | 7 |
| A_3 | 3 | 5 | 0 | 8 | 2 | 7 | 6 | 5 | 7 |
| A_4 | 6 | 6 | 8 | 0 | 5 | 4 | 3 | 8 | 8 |
| A_5 | 7 | 10 | 2 | 5 | 0 | 10 | 8 | 3 | 7 |
| A_6 | 4 | 3 | 7 | 4 | 10 | 0 | 2 | 3 | 5 |
| A_7 | 10 | 2 | 6 | 3 | 8 | 2 | 0 | 6 | 3 |
| A_8 | 3 | 5 | 5 | 8 | 3 | 3 | 6 | 0 | 9 |
| A_9 | 11 | 7 | 7 | 8 | 7 | 5 | 3 | 9 | 0 |

9. Докажите, что для блочного расстояния (пример 7.4 из раздела 7.2) справедливо неравенство треугольника.
10. Расскажите о многообразии расстояний в различных пространствах статистических данных.
11. Докажите, что если $d(x, y)$ — расстояние в некотором пространстве, то $\sqrt{d(x, y)}$ — также расстояние в этом пространстве.
12. Имеются данные за несколько лет о торговом обороте Y российского предприятия и его расходах на рекламу X . Данные представлены в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Расходы на рекламу и торговый оборот предприятия

| Год, t | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Расходы на рекламу $x(t)$, млн руб. | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 | 8 | 10 | 11 |
| Торговый оборот $y(t)$, млрд руб. | 4 | 5 | 6 | 6 | 8 | 10 | 12 | 13 |

Вычислите коэффициенты корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла между случайными величинами X и Y .

13. Семь школьников выполняют несколько заданий по математике и физике, которые оцениваются баллами 1—5, затем вычисляется средний балл для каждого школьника по каждому предмету: по математике — x_i , по физике — y_i . Данные представлены в табл. 7.7. Определите, существует ли корреляция (то есть связь) между этими оценками, вычислив коэффициенты корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла.

Таблица 7.7

Средние баллы по математике и физике

| Школьник | Средний балл по математике x_i | Средний балл по физике y_i |
|----------|----------------------------------|------------------------------|
| A | 1,8 | 3,2 |
| B | 3,0 | 2,8 |
| C | 3,5 | 4,0 |
| D | 4,0 | 5,0 |
| E | 5,0 | 3,6 |
| F | 3,8 | 2,4 |
| G | 2,0 | 1,2 |

14. Дана матрица попарных расстояний для множества бинарных отношений из 9 элементов (табл. 7.5). Найдите в этом множестве медиану для множества из 5 элементов: A_2, A_3, A_4, A_6, A_7 .

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Классификация мнений экспертов и проверка согласованности.
2. Формирование итогового мнения комиссии экспертов.
3. Расстояние по Кемени и медиана Кемени в экспертных оценках.
4. Законы больших чисел в пространствах нечисловой природы.
5. Рассчитайте модифицированную медиану Кемени упорядочения 7 инвестиционных проектов, приведенных в табл. 3.4 (глава 3).
6. Методы теории люсианов в теории и практике экспертных оценок.
7. Центральная роль статистики объектов произвольной природы в математической теории анализа экспертных оценок.
8. Расстояния в пространствах функций.
9. Докажите, что аксиоматически введенный в разделе 7.3 показатель различия между множествами $d(A, B) = \mu(A \Delta B)$ удовлетворяет неравенству треугольника.
10. Покажите, что среднее арифметическое коэффициентов ранговой корреляции Спирмена r для $m(m-1)/2$ пар признаков, рассчитанное по матрице (7.15), равно $(mW-1)/(m-1)$, где W — коэффициент конкордации m признаков.

Глава 8

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

8.1. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ — ИНСТРУМЕНТ ПОЛУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Математические модели организационных и экономических явлений и процессов кратко называют организационно-экономическими моделями. Они предназначены для получения наиболее эффективных управленческих решений с помощью методов оптимизации. Оптимальные методы в экономике и управлении рассмотрим на примере управления запасами. Основное внимание уделим классической модели Вильсона, позволяющей наглядно и достаточно просто с математической точки зрения продемонстрировать методологию и основные этапы организационно-экономического моделирования [78]. Эта модель широко и успешно применяется на практике (см., например, [118]).

Теория управления запасами — часть логистики. Термин «логистика» происходит от французского слова *«loger»* (размещение, расквартирование), которое употребляется в военной терминологии для определения движения военных грузов, их складирования и размещения, а также для описания процесса размещения и расквартирования военных подразделений. В настоящее время термин «логистика» широко используется в деловом мире и определяет теорию и практику движения сырья, материалов, комплектующих изделий, производственных, трудовых и финансовых ресурсов, готовой продукции от их источников к потребителям.

Логистика — наука о планировании, управлении и контроле за движением материальных, информационных и финансовых ресурсов в различных производственно-экономических системах. Предметом

логистики является комплексное управление всеми материальными и нематериальными потоками в таких системах. Новизна концепции логистики в области управления промышленными системами состоит во всестороннем подходе к вопросам движения материальных благ в процессе производства и управления. Логистическая система должна охватывать и согласовывать процессы производства, закупок и распределения продукции, а также быть основой при стратегическом планировании и прогнозировании. Итак, логистика — это экономическая дисциплина, занимающаяся оптимальной организацией материальных, финансовых и информационных потоков.

Одна из основных частей логистики — теория управления запасами. Сколько товара держать на складе? Много — будут омертвляться оборотные средства, вложенные в запас. Мало — слишком часто надо будет заниматься получением новых партий товара и нести соответствующие расходы. Значит, надо рассчитать и использовать оптимальный размер запаса. А для этого необходимо построить соответствующую математическую модель.

Управление запасами (другими словами, материально-техническое снабжение) — неотъемлемая часть работы фирм и организаций. Речь идет о запасах сырья, топлива, материалов, инструментов, комплектующих изделий, полуфабрикатов, готовой продукции на промышленном (или сельскохозяйственном) предприятии, о запасах товаров на оптовых базах, складах магазинов, на рабочих местах продавцов, наконец, у потребителей. Запасы постоянно расходуются и пополняются по тем или иным правилам, принятым на предприятии. Оптимизация этих правил, то есть оптимальное управление запасами, дает большой экономический эффект.

Математическая теория управления запасами является крупной областью экономико-математических исследований, получившей свое развитие, в основном, начиная с пятидесятых годов XX века. Предложенная, видимо, еще в 1915 г. Ф. Харрисом классическая модель теории управления запасами, называемая также моделью Вильсона (в связи с тем, что получила известность после публикации работы Р.Г. Вильсона в 1934 г.), является одним из наиболее простых и наглядных примеров применения математического аппарата для принятия решений в экономической области. В то же время формула оптимального размера заказа, полученная в модели Вильсона, широко применяется на различных этапах производства и распределения продукции, поскольку оказывается практически полезной для принятия решений при управлении запасами, в частности приносящей заметный экономический эффект [89]. Рассмотрим эту модель подробнее.

8.2. КЛАССИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Пусть $y(t)$ — величина запаса некоторого товара на складе в момент времени t , $t \geq 0$. Дефицит не допускается, то есть $y(t) \geq 0$ при всех t . Товар пользуется равномерным спросом с интенсивностью μ , то есть за интервала времени Δt со склада извлекается и поступает потребителям часть запаса величиной $\mu \Delta t$. В моменты времени $t_0 = 0, t_1, t_2, \dots$ пополняется запас на складе — приходят поставки величиной Q_0, Q_1, Q_2, \dots соответственно. Таким образом, изменение во времени величины запаса $y(t)$ товара на складе изображается зубчатой ломаной линией (рис. 8.1), состоящей из наклонных и вертикальных звеньев, причем наклонные отрезки параллельны.

Таким образом, в момент t_i величина запаса на складе $y(t)$ скачком увеличивается на Q_i . Следовательно, функция $y(t)$ имеет разрывы в точках t_1, t_2, \dots Для определенности будем считать, что эта функция непрерывна справа.

Пусть s — плата за хранение единицы товара в течение единицы времени. Поскольку можно считать, что величина запаса $y(t)$ не меняется в течение интервала времени $(t; t + dt)$, где dt — дифференциал, то есть бесконечно малая, то плата за хранение всего запаса в течение этого интервала времени равна $sy(t)dt$. Следовательно, затраты за хранение в течение интервала времени $[0; T]$, где T — интервал планирования, пропорциональны (с коэффициентом пропорциональности s) площади под графиком уровня запаса на складе $y(t)$ и равны

$$s \int_0^T y(t) dt.$$

Пусть g — плата за доставку одной партии товара. Примем для простоты, что она не зависит от размера поставки. Позже покажем, что если эта плата равна $g + g_1 Q$, где Q — размер поставки, то оптимальный

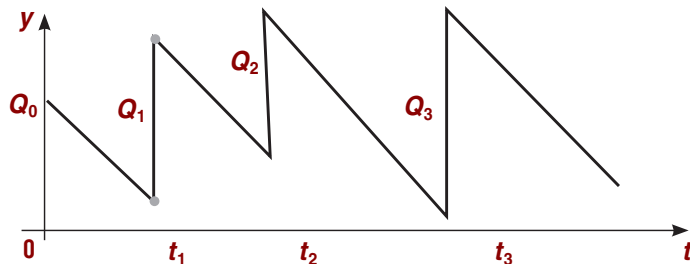


Рис. 8.1. График изменения величины запаса на складе

план поставки — тот же, что и при отсутствии линейного члена. Будет проанализирована и более сложная модель, в которой предусмотрена скидка с ростом поставки, приводящая к выражению $g + g_1 Q + g_2 Q^2$ для платы за доставку одной партии товара размером Q .

Пусть $n(T)$ — количество поставок, пришедших в интервале $[0; T]$. При этом включаем поставку в момент $t = 0$ и не включаем поставку в момент $t = T$ (если такая поставка происходит). Тогда суммарные издержки на доставку товара равны $gn(T)$. Следовательно, общие издержки (затраты, расходы) за время T равны

$$F(T; y) = F(y(t), 0 \leq t < T) = gn(T) + s \int_0^T y(t) dt.$$

Запись $F(T; y) = F(y(t), 0 \leq t < T)$ означает, что общие издержки зависят от значений функции $y = y(t)$ при всех $0 \leq t < T$. Символ y обозначает функцию как целое. Другими словами, область определения $F(T; y)$ при фиксированном T — не множество чисел, а множество функций.

Общие издержки, очевидно, возрастают при росте горизонта планирования T . Поэтому часто используют средние издержки, приходящиеся на единицу времени. Средние издержки за время T равны

$$f(T; y) = f(y(t), 0 \leq t < T) = \frac{1}{T} F(T; y) = \frac{1}{T} \left\{ gn(T) + s \int_0^T y(t) dt \right\}.$$

Поскольку товар отпускается со склада с постоянной интенсивностью (скоростью), дефицит не допускается, то доходы от работы склада пропорциональны горизонту планирования, средние доходы постоянны. Следовательно, максимизация прибыли эквивалентна минимизации издержек или средних издержек.

Если задать моменты прихода поставок и величины партий, то будет полностью определена функция $y = y(t)$ при всех $0 \leq t < T$. Верно и обратное — фиксация функции $y = y(t)$, $0 \leq t < T$ рассматриваемого вида (рис. 8.1) полностью определяет моменты прихода поставок и величины партий. И то, и другое будем называть *планом* поставок или *планом* работы системы управления запасами. Для ее оптимизации необходимо выбрать моменты времени $t_0 = 0, t_1, t_2, \dots$ пополнения запаса на складе и размеры поставляемых партий товара Q_0, Q_1, Q_2, \dots так, чтобы минимизировать средние издержки $fT(y)$ при фиксированном T . Модель производственной ситуации (то есть работы склада) описывается четырьмя параметрами — μ (интенсивность спроса), s (стоимость хранения единицы продукции в течение единицы времени), g (стоимость доставки партии товара), T (горизонт планирования).

8.3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ

Поставленная задача оптимизации работы склада интересна тем, что неизвестно число $2n(T)-1$ параметров, определяющих план поставок. Поэтому ее решение не может быть проведено с помощью стандартных методов теории оптимизации.

Решим эту задачу в три этапа. На первом установим, что оптимальный план следует искать среди тех планов, у которых все зубцы доходят до оси абсцисс, то есть запас равен 0 в момент доставки очередной партии. Цель второго этапа — доказать, что все зубцы должны быть одной и той же высоты. Наконец, на третьем находим оптимальный размер поставки.

Оптимальный план. Найдем наилучший план поставок. План, для которого запас равен 0 (то есть $y(t) = 0$) в моменты доставок очередных партий, назовем напряженным.

Утверждение 1. Для любого плана поставок, не являющегося напряженным, можно указать напряженный план, для которого средние издержки меньше.

Покажем, как можно от произвольного плана перейти к напряженному плану, уменьшив при этом издержки. Пусть с течением времени при приближении к моменту t_1 прихода поставки Q_1 уровень запаса не стремится к 0, а лишь уменьшается до $y(t_1-) \neq 0$ (где знак «минус» означает предел слева функции $y(t)$ в точке t_1). Тогда рассмотрим новый план поставок с теми же моментами поставок и их величинами, за исключением величин поставок в моменты $t = 0$ и $t = t_1$. А именно, заменим Q_0 на $Q_{01} = Q_0 - y(t_1-)$, а Q_1 на $Q_{11} = Q_0 + y(t_1-)$. Тогда график уровня запаса на складе параллельно сдвинется вниз на интервале $(0; t_1)$, достигнув 0 в t_1 , и не изменится правее точки t_1 . Следовательно, издержки по доставке партий не изменятся, а издержки по хранению уменьшатся на величину, пропорциональную (с коэффициентом пропорциональности s) площади параллелограмма, образованного прежним и новым положениями графика уровня запаса на интервале $(0; t_1)$ (см. рис. 8.2).

Итак, в результате первого шага перехода получен план, в котором крайний слева зубец достигает оси абсцисс. Следующий шаг проводится аналогично, только момент времени $t = 0$ заменяется на $t = t_1$. Если есть такая возможность, второе наклонное звено графика уровня запаса на складе параллельно сдвигается вниз, достигая в крайней правой точке t_2 оси абсцисс.

Аналогично поступаем со всеми остальными зубцами, двигаясь слева направо. В результате получаем напряженный план. На каждом

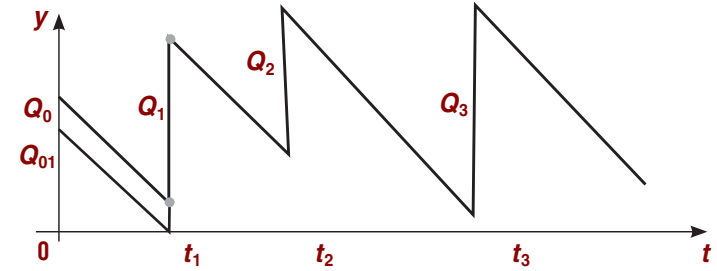


Рис. 8.2. Первый шаг перехода к напряженному плану

шагу издержки по хранению либо сокращались, либо оставались прежними (если соответствующее звено графика не опускалось вниз). Следовательно, для полученного в результате описанного преобразования напряженного плана издержки по хранению меньше, чем для исходного плана, либо равны (если исходный план уже являлся напряженным).

Из утверждения 1 следует, что оптимальный план следует искать только среди напряженных планов. Другими словами, план, не являющийся напряженным, не может быть оптимальным.

Утверждение 2. Среди напряженных планов с фиксированным числом поставок минимальные издержки имеет тот, в котором все интервалы между поставками равны.

При фиксированном числе поставок затраты на доставку партий не меняются. Следовательно, достаточно минимизировать затраты на хранение.

Для напряженных планов размеры поставок однозначно определяются с помощью интервалов между поставками:

$$Q_{i-1} = \mu(t_i - t_{i-1}), i = 1, 2, \dots, n(T)-1, Q_{n(T)-1} = \mu(T - t_{n(T)-1}),$$

Действительно, очередная поставка величиной Q_{i-1} совпадает с размером запаса на складе в момент t_{i-1} , расходуется с интенсивностью μ единиц товара в одну единицу времени и полностью исчерпывается к моменту t_i прихода следующей поставки.

$$\text{Для напряженного плана издержки по хранению равны}$$

$$s \int_0^T y(t) dt = s \sum_{i=1}^{n(T)} \frac{Q_{i-1}(t_i - t_{i-1})}{2} = s \sum_{i=1}^{n(T)} \frac{\mu(t_i - t_{i-1})^2}{2} = s \sum_{i=1}^{n(T)} \frac{\mu \Delta_i^2}{2} = \frac{\mu s}{2} \sum_{i=1}^{n(T)} \Delta_i^2,$$

где

$$\Delta_i = t_i - t_{i-1}, i = 1, 2, \dots, n(T), t_{n(T)} = T.$$

Ясно, что $\Delta_i, i = 1, 2, \dots, n(T)$ — произвольные неотрицательные числа, в сумме составляющие T . Следовательно, для минимизации из-

держек среди напряженных планов с фиксированным числом поставок достаточно решить задачу оптимизации

$$\begin{cases} \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2 \rightarrow \min, \\ \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n = T, \\ \Delta_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \end{cases}$$

где $n = n(T)$.

Полученная задача оптимизации формально никак не связана с логистикой, она является чисто математической. Для ее решения целесообразно ввести новые переменные

$$\alpha_i = \Delta_i - \frac{T}{n}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Тогда

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \left(\Delta_i - \frac{T}{n} \right) = \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i \right) - n \frac{T}{n} = T - T = 0.$$

Поскольку

$$\Delta_i = \frac{T}{n} + \alpha_i,$$

то

$$\Delta_i^2 = \frac{T^2}{n^2} + 2 \frac{T}{n} \alpha_i + \alpha_i^2,$$

следовательно, с учетом предыдущего равенства имеем

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = n \frac{T^2}{n^2} + 2 \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 = \frac{T^2}{n} + \sum_{i=1}^n \alpha_i^2.$$

Сумма квадратов всегда неотрицательна. Она достигает минимума, равного 0, когда все переменные равны 0, то есть при $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$. Тогда

$$\Delta_i = \frac{T}{n}, i = 1, 2, \dots, n.$$

При этих значениях Δ_i выполнены все ограничения оптимизационной задачи. Итак, утверждение 2 доказано.

Для плана с равными интервалами между поставками все партии товара имеют одинаковый объем. Для такого плана издержки по хранению равны

$$s \int_0^T y(t) dt = \frac{\mu s}{2} \sum_{i=1}^{n(T)} \Delta_i^2 = \frac{\mu s T^2}{2n(T)}.$$

Средние издержки (на единицу времени) таковы:

$$f(T; y) = \frac{1}{T} \left\{ gn(T) + \frac{\mu s T^2}{2n(T)} \right\} = g \frac{n(T)}{T} + \mu s \frac{T}{2n(T)}.$$

Итак, минимизация средних издержек — это задача дискретной оптимизации. На третьем этапе построения оптимального плана необходимо найти натуральное число $n(T)$ — самое выгодное число поставок.

Поскольку к моменту T запас товара должен быть израсходован, то общий объем поставок за время T должен совпадать с общим объемом спроса, следовательно, равняться μT . Справедливо балансовое соотношение (аналог закона Ломоносова — Лавуазье сохранения массы при химических реакциях):

$$Qn(T) = \mu T.$$

Из балансового соотношения следует, что

$$\frac{n(T)}{T} = \frac{\mu}{Q}.$$

Средние издержки (на единицу времени) можно выразить как функцию размера партии Q :

$$f(T; y) = g \frac{n(T)}{T} + \mu s \frac{T}{2n(T)} = f_1(Q) = \frac{\mu g}{Q} + \frac{sQ}{2}. \quad (8.1)$$

Задача состоит в минимизации $f_1(Q)$ по Q . При этом возможная величина поставки принимает дискретные значения, $Q \in \left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\}$.

Изучим функцию $f_1(Q)$, определенную при $Q > 0$. При приближении к 0 она ведет себя как гипербола, при росте аргумента — как линейная функция. Производная имеет вид

$$\frac{df_1(Q)}{dQ} = -\frac{\mu g}{Q^2} + \frac{s}{2}. \quad (8.2)$$

Производная монотонно возрастает, поэтому рассматриваемая функция имеет единственный минимум в точке, в которой производная равна 0, то есть при

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2\mu g}{s}}. \quad (8.3)$$

Получена знаменитая «формула квадратного корня».

Учет дискретности множества, по которому проводится оптимизация. В литературе иногда без всяких комментариев рекомендуют использовать напряженный план, в котором размеры всех поставляемых партий равны Q_0 . К сожалению, получаемый таким путем план почти всегда не является оптимальным, то есть популярная рекомендация неверна или не вполне корректна. Дело в том, что почти всегда

$$Q_0 \notin \left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\}.$$

Всегда можно указать неотрицательное целое число n такое, что

$$Q_1 = \frac{\mu T}{n+1} < Q_0 \leq \frac{\mu T}{n} = Q_2 \quad (8.4)$$

Утверждение 3. Решением задачи оптимизации

$$f_1(Q) = \frac{\mu g}{Q} + \frac{sQ}{2} \rightarrow \min,$$

$$Q \in \left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\}.$$

является либо Q_1 , либо Q_2 .

Действительно, из всех

$$Q \in \left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\}.$$

часть лежит правее Q_0 , из них наименьшим является Q_2 , а часть лежит левее Q_0 , из них наибольшим является Q_1 . Для построения оптимального плана обратим внимание на то, что производная (8.2) отрицательна левее Q_0 и положительна правее Q_0 , следовательно, функция средних издержек $f_1(Q)$ убывает левее Q_0 и возрастает правее Q_0 . Значит, минимум по

$$Q \in \left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\} \cap \{Q : Q \geq Q_0\}$$

достигается при $Q = Q_2$, а минимум по

$$Q \in \left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\} \cap \{Q : Q < Q_0\}$$

— при $Q = Q_1$. Последнее утверждение эквивалентно заключению утверждения 3.

Итак, алгоритм построения оптимального плана таков.

1. Найти Q_0 по формуле квадратного корня (8.3).
2. Найти n из условия (8.4).
3. Рассчитать $f_1(Q)$ по формуле (8.1) для $Q = Q_1$ и $Q = Q_2$, где Q_1 и Q_2 определены в (8.4).

4. Наименьшее из двух чисел $f_1(Q_1)$ и $f_1(Q_2)$ является искомым минимумом, а то из чисел Q_1 и Q_2 , на котором достигается минимум — решением задачи оптимизации. Обозначим его Q_{opt} .

Оптимальный план поставки — это напряженный план, в котором объемы всех поставок равны Q_{opt} .

Замечание. Если $f_1(Q_1) = f_1(Q_2)$, то решение задачи оптимизации состоит из двух точек Q_1 и Q_2 . В этом частном случае существует два оптимальных плана.

Пример 8.1. На складе хранится некоторая продукция, пользующаяся равномерным спросом. За 1 день со склада извлекается 5 т продукции. Плата за хранение 1 т продукции в день — 50 руб. Плата на доставку одной партии — 980 руб. Горизонт планирования — 10 дней. Найти оптимальный план поставок.

В рассматриваемом случае $\mu = 5$ (т./день), $s = 50$ (руб./т.день), $g = 980$ (руб./партия), $T = 10$ (дней). По формуле (8.3) рассчитываем

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2\mu g}{s}} = \sqrt{\frac{2 \times 5 \times 980}{50}} = \sqrt{196} = 14.$$

Множество допустимых значений для Q имеет вид

$$\left\{ \frac{\mu T}{n}, n = 1, 2, \dots \right\} = \left\{ 50; \frac{50}{2}; \frac{50}{3}; \frac{50}{4}; \dots \right\} = \{50; 25; 16,67; 12,5; \dots\}.$$

Следовательно, $Q_1 = 12,5$ и $Q_2 = 16,67$. Первое значение определяет напряженный план с четырьмя одинаковыми зубцами, а второе — с тремя. Поскольку

$$f_1(Q) = \frac{5 \times 980}{Q} + \frac{50Q}{2} = \frac{4900}{Q} + 25Q,$$

то

$$f_1(Q_1) = f_1(12,5) = \frac{4900}{12,5} + 25 \times 12,5 = 392 + 312,5 = 704,5$$

и

$$f_1(Q_2) = f_1(50/3) = \frac{4900 \times 3}{50} + 25 \times \frac{50}{3} = 294 + 416,67 = 710,67.$$

Поскольку $f_1(Q_1) < f_1(Q_2)$, то $Q_{opt} = Q_1 = 12,5$. Итак, оптимальным является напряженный план с четырьмя зубцами.

Как уже отмечалось, часто рекомендуют применять план поставок с $Q = Q_0$. Каков при этом проигрыш по сравнению с оптимальным планом?

Для плана с $Q = Q_0$ интервал между поставками составляет $Q_0/\mu = 14/5 = 2,8$ дня. Следовательно, партии придут в моменты $t_0 = 0$; $t_1 = 2,8$; $t_2 = 5,6$; $t_3 = 8,4$. Следующая партия должна была бы прийти уже за пределами горизонта планирования $T = 10$, в момент $t_4 = 11,2$. Таким образом, график уровня запаса на складе в пределах горизонта планирования состоит из трех полных зубцов и одного неполного. К моменту $T = 10$ пройдет $10 - 8,4 = 1,6$ дня с момента последней поставки, значит, со склада будет извлечено $5 \times 1,6 = 8$ т продукции и останется $14 - 8 = 6$ т. План с $Q = Q_0$ не является напряженным, а потому не является оптимальным для горизонта планирования $T = 10$.

Подсчитаем общие издержки в плане с $Q = Q_0$. Площадь под графиком уровня запаса на складе равна сумме площадей трех треугольников и трапеции. Площадь треугольника равна $\frac{14 \times 2,8}{2} = 19,6$ трех треугольников — 58,8. Основания трапеции параллельны оси ординат и равны значениям уровня запаса в моменты времени $t_3 = 8,4$ и $T = 10$, то есть величинам 14 и 6 соответственно. Высота трапеции лежит на оси абсцисс и равна $10 - 8,4 = 1,6$, а потому площадь трапеции есть $\frac{(14 + 6) \times 1,6}{2} = 16$. Следовательно, площадь под графиком равна $58,8 + 16 = 74,8$, а плата за хранение составляет $50 \times 74,8 = 3740$ руб.

За 10 дней доставлены 4 партии товара (в моменты $t_0 = 0$; $t_1 = 2,8$; $t_2 = 5,6$; $t_3 = 8,4$), следовательно, затраты на доставку равны $4 \times 980 = 3920$ руб. Общие издержки за 10 дней составляют $3740 + 3920 = 7660$ руб., а средние издержки — 766 руб. Они больше

средних издержек в оптимальном плане в $766/704,5 = 1,087$ раза, то есть на 8,7%.

Отметим, что

$$f_1(Q_0) = \frac{4900}{Q_0} + 25Q_0 = \frac{4900}{14} + 25 \times 14 = 350 + 350 = 700,$$

то есть меньше, чем в оптимальном плане. Таким образом, из-за дискретности множества допустимых значений средние издержки возросли на 4,5 руб., т.е. на 0,64%. При этом оптимальный размер партии (12,5 т) отличается от $Q_0 = 14$ т на 1,5 т, то есть $Q_{opt}/Q_0 = 0,89$ — различие на 11%. Достаточно большое различие объемов поставок привело к пренебрежимо малому изменению функции $f_1(Q)$. Это объясняется тем, что в точке Q_0 функция $f_1(Q)$ достигает минимума, а потому ее производная в этой точке равна 0.

Оба слагаемых в $f_1(Q_0)$ равны между собой. Случайно ли это? Покажем, что нет. Действительно,

Таким образом, составляющие средних издержек, порожденные различными причинами, уравниваются между собой.

Средние издержки в плане с $Q = Q_0$ равны $\sqrt{2\mu g s}$. Интервал между поставками при этом равен

$$\frac{Q_0}{\mu} = \frac{\sqrt{\frac{2\mu g}{s}}}{2} = \sqrt{\frac{2g}{\mu s}}.$$

Издержки в течение одного интервала между поставками таковы:

$$\sqrt{2\mu g s} \times \sqrt{\frac{2g}{\mu s}} = 2g,$$

при этом половина (то есть g) приходится на оплату доставки партии, а половина — на хранение товара.

8.4. АСИМПТОТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫЙ ПЛАН

Из проведенных рассуждений ясно, что напряженный план с $Q=Q_0$ является оптимальным тогда и только тогда, когда горизонт планирования T приходится на начало очередного зубца, то есть для

$$T = n \frac{Q_0}{\mu} = n \sqrt{\frac{2g}{\mu s}}, n = 1, 2, \dots \quad (8.5)$$

Для всех остальных возможных горизонтов планирования T этот план не является оптимальным. Оптимальным будет напряженный план с другим размером поставки. Для дальнейшего весьма существенно, что при изменении горизонта планирования T от 0 до T_0 оптимальный план меняется на всем интервале $[0; T_0]$.

Как происходит это изменение? При малых горизонтах планирования T делается лишь одна поставка (в момент времени $t = 0$), график уровня запаса на складе состоит из одного зубца. При увеличении T размер зубца плавно увеличивается. В некоторый момент $T(1)$ происходит переход от одного зубца к двум. В этот момент оптимальны сразу два плана поставки — с одним зубцом и с двумя. При переходе к планам с двумя зубцами размер зубца скачком уменьшается. При дальнейшем увеличении горизонта планирования оптимальный план описывается графиком с двумя одинаковыми зубцами, размер которых плавно растет. Далее в момент $T(2)$ становится оптимальным план с тремя зубцами, размер которых в этот момент скачком уменьшается (в компенсацию за увеличение числа скачков). И т.д.

Проблема состоит в том, что в реальной экономической ситуации выбор горизонта планирования T весьма субъективен. Возникает вопрос, какой план разумно использовать, если горизонт планирования не известен заранее. Проблема горизонта планирования возникает не только в логистике. Она является общей для любого перспективного планирования, поэтому весьма важна для стратегического менеджмента (см. главу 4 части I учебника [88]). Для решения проблемы горизонта планирования необходимо использование конкретной модели принятия решений, в рассматриваемом случае — классической модели управления запасами.

Ответ можно указать, если горизонт планирования является достаточно большим. Оказывается, можно использовать план, в котором все размеры поставок равны Q_0 . Для него уровень запаса на складе описывается функцией $y_0(t)$, $0 \leq t < +\infty$, состоящей из зубцов высоты Q_0 . Предлагается пользоваться планом, являющимся сужением этого плана на интервал $[0; T)$. Другими словами, предлагается на интервале $[0; T)$ использовать начальный отрезок этого плана. Он состоит из некоторого количества треугольных зубцов, а последний участок графика, описываемый трапецией, соответствует тому, что последняя поставка для почти всех горизонтов планирования не будет израсходована до конца. Такой план иногда называют планом Вильсона [89].

Ясно, что этот план не будет оптимальным (для всех T , кроме заданных формулой (8.5)). Действительно, план Вильсона можно улучшить, уменьшив объем последней поставки. Однако у него есть то

полезное качество, что при изменении горизонта планирования его начальный отрезок не меняется. Действительно, планы поставок для горизонтов планирования T_1 и T_2 , определенные с помощью функции $y_0(t)$, $0 \leq t < +\infty$, задающей уровень запасов на складе, совпадают на интервале $[0; \min\{T_1, T_2\})$.

Определение. Асимптотически оптимальным планом называется план поставок — функция $y: [0; +\infty) \rightarrow [0; +\infty)$ такая, что

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{f(T; y_{opt}(T))}{f(T; y)} = 1,$$

где $y_{opt}(T)$ — оптимальный план на интервал $[0; T)$.

В соответствии с определениями и обозначениями, введенными в начале раздела, T для плана $f(T; y_{opt}(T))$ — средние издержки за время T для плана $y_{opt}(T)$, определенного на интервале $[0; T)$, а $f(T; y)$ — средние издержки за время T для плана $y: [0; +\infty) \rightarrow [0; +\infty)$.

Теорема 1. План $y = y_0$ является асимптотически оптимальным.

Таким образом, для достаточно больших горизонтов планирования T планы $y_0(t)$, $0 \leq t \leq T$, все зубцы y которых имеют высоту Q_0 , имеют издержки, приближающиеся к минимальным. Следовательно, эти планы Вильсона, являющиеся сужениями одной и той же функции $y: [0; +\infty) \rightarrow [0; +\infty)$ на интервалы $[0; T)$ при различных T , можно использовать одновременно при всех достаточно больших T .

Замечание. Согласно [89] решение проблемы горизонта планирования состоит в использовании асимптотически оптимальных планов, которые близки (по издержкам) к оптимальным планам сразу при всех достаточно больших T (см. обсуждение в указанной выше главе [88]).

Доказательство. По определению оптимального плана

$$\frac{f(T; y_{opt}(T))}{f(T; y)} \leq 1 \quad (8.6)$$

Найдем нижнюю границу для рассматриваемого отношения. При фиксированном T можно указать неотрицательное целое число n такое, что

$$\frac{nQ_0}{\mu} \leq T < \frac{(n+1)Q_0}{\mu}$$

Так как $Tf(T; y_{opt}(T))$ и $\frac{nQ_0}{\mu} f\left(\frac{nQ_0}{\mu}; y_{opt}(T)\right)$ — общие издержки на интервалах $(0; T)$ и $(0; nQ_0/\mu)$ соответственно при использовании оптимального на $(0; T)$ плана, то, очевидно, поскольку второй интервала — часть первого (или совпадает с ним), первые издержки больше вторых, то есть

$$Tf(T; y_{opt}(T)) > \frac{nQ_0}{\mu} f\left(\frac{nQ_0}{\mu}; y_{opt}(T)\right).$$

Далее, так как на интервале $(0; nQ_0/\mu)$, включающем целое число периодов плана y_0 , оптимальным является начальный отрезок этого плана $y_0(nQ_0/\mu)$, то

$$\frac{nQ_0}{\mu} f\left(\frac{nQ_0}{\mu}; y_{opt}(T)\right) \geq \frac{nQ_0}{\mu} f\left(\frac{nQ_0}{\mu}; y_0(T)\right)$$

В правой части последнего неравенства стоит $\frac{nQ_0}{\mu} \sqrt{2\mu g s}$ (здесь использована формула для минимального значения средних издержек $f(T; y)$ при T , кратном nQ_0/μ). Из проведенных рассуждений вытекает, что

$$Tf(T; y_{opt}(T)) \geq \frac{nQ_0}{\mu} \sqrt{2\mu g s}. \quad (8.7)$$

Для общих издержек на интервалах $(0; T)$ и $(0; (n+1)Q_0/\mu)$ при использовании плана y_0 , очевидно, справедливо следующее неравенство

$$Tf(T; y_0(T)) \leq \frac{(n+1)Q_0}{\mu} f\left(\frac{(n+1)Q_0}{\mu}; y_0(T)\right)$$

Следовательно,

$$Tf(T; y_0(T)) \leq \frac{(n+1)Q_0}{\mu} \sqrt{2\mu g s}. \quad (8.8)$$

Из неравенств (8.7) и (8.8) вытекает, что

$$\frac{f(T; y_{opt}(T))}{f(T; y)} \geq \frac{n}{n+1} = 1 - \frac{1}{n+1} \geq 1 - \frac{Q_0}{\mu T}.$$

Так как $\frac{Q_0}{\mu T} \rightarrow 0$ при $T \rightarrow \infty$, то, учитывая неравенство (8.6), из последнего неравенства выводим справедливость заключения теоремы 1. Таким образом, асимптотическая оптимальность плана y_0 доказана.

При небольшом T средние издержки в плане Вильсона могут существенно превышать средние издержки в оптимальном плане. Превышение вызвано скачками функции $f(T; y_0(T))$, связанными с переходами через моменты прихода очередных поставок (и увеличением общих издержек скачком на величину платы за доставку партии). Величину превышения средних издержек в плане Вильсона по сравнению с оптимальными планами можно рассчитать.

Пусть горизонт планирования $T = t_k + \varepsilon$, где t_k — момент прихода $(k+1)$ -й поставки в плане Вильсона, $\varepsilon > 0$. Тогда, как можно доказать,

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(T; y_0(T))}{f(T; y_{opt}(T))} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t_k + \varepsilon; y_0(t_k + \varepsilon))}{f(t_k + \varepsilon; y_{opt}(t_k + \varepsilon))} = 1 + \frac{1}{2k}.$$

Таким образом, затраты в плане Вильсона являются минимальными (относительно оптимального плана) при $T = t_k$, $k = 1, 2, \dots$, где t_k — моменты прихода поставок. Напомним, что план Вильсона является оптимальным при указанных T . Однако при T , бесконечно близком к t_k , но превосходящем t_k , затраты увеличиваются по сравнению

с затратами в оптимальном плане в $\{1+1/(2k)\}$ раз. При дальнейшем возрастании T отношение издержек (средних или общих) в плане Вильсона к аналогичным издержкам в оптимальном плане постепенно уменьшается, приближаясь к 1 при приближении (снизу) к моменту t_{k+1} прихода следующей поставки. А там — новый скачок, но уже на меньшую величину $\{1+1/(2k+2)\}$. И т.д.

Сразу после прихода первой поставки отношение затрат составляет 1,5 (превышение на 50%), после прихода второй — 1,25 (превышение на 25%), третьей — 1,167 (превышение на 16,7%), четвертой — 1,125 (превышение на 12,5%), пятой — 1,1 (превышение на 10%), и т.д. Таким образом, при небольших горизонтах планирования T превышение затрат может быть значительным, план Вильсона отнюдь не оптимальный. Но чем больше горизонт планирования, тем отклонение меньше. Уже после сотой поставки оно не превышает 0,5%.

8.5. ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПАРТИИ

В реальных производственных и управленческих ситуациях часто приходится принимать решения об использовании объемов партии, отличных от оптимальной величины Q_0 , рассчитанной по формуле квадратного корня (8.3). Например, при ограниченной емкости склада или для обеспечения полной загрузки транспортных средств большой вместимости. Это возможно также в ситуации, когда величина партии измеряется в целых числах (штучный товар) или даже в десятках, дюжинах, упаковках, ящиках, контейнерах и т.д., а величина Q_0 не удовлетворяет этому требованию и, следовательно, не может быть непосредственно использована в качестве объема поставки.

Поэтому необходимо уметь вычислять возрастание средних издержек при использовании напряженного плана с одинаковыми поставками объема Q , отличного от Q_0 , по сравнению со средними издержками в оптимальном плане. Будем сравнивать средние издержки за целое число периодов. Как показано выше, они имеют вид

$$f_1(Q) = \frac{\mu g}{Q} + \frac{sQ}{2},$$

где Q — объем партии. Тогда

$$\frac{f_1(Q) - f_1(Q_0)}{f_1(Q_0)} = \frac{1}{2} \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right) \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0} \right). \quad (8.9)$$

Это тождество нетрудно проверить с помощью простых алгебраических преобразований.

Пример 8.2. Пусть используется план с $Q = 0,9 Q_0$. Тогда

$$\frac{f_1(Q) - f_1(Q_0)}{f_1(Q_0)} = \frac{1}{2} \left(\frac{-0,1Q_0}{0,9Q_0} \right) \left(\frac{-0,1Q_0}{Q_0} \right) = \frac{0,01}{1,8} = 0,0056.$$

Таким образом, изменение объема партии на 10% привело к увеличению средних издержек лишь на 0,56%.

Пример 8.3. Пусть используемое значение объема поставки Q отличается от оптимального не более чем на 30%. На сколько могут возрасти издержки?

Из формулы (8.9) вытекает, что максимальное возрастание издержек будет в случае $Q = 0,7 Q_0$. Тогда

$$\frac{f_1(Q) - f_1(Q_0)}{f_1(Q_0)} = \frac{1}{2} \left(\frac{-0,3Q_0}{0,7Q_0} \right) \left(\frac{-0,3Q_0}{Q_0} \right) = \frac{0,09}{1,4} = 0,0643.$$

Таким образом, издержки могут возрасти самое большее на 6,43%.

На первый взгляд представляется удивительным, что сравнительно большое отклонение значения переменной Q от оптимального (на 10%) приводит к пренебрежимо малому возрастанию значения оптимизируемой функции. Этот факт имеет большое прикладное значение. Из него следует, что область «почти оптимальных» значений параметра весьма обширна, следовательно, из нее можно выбирать для практического использования те или иные значения, исходя из иных принципов. Можно, например, минимизировать какую-либо иную целевую функцию, тем самым, решая задачу многокритериальной оптимизации. Можно «вписаться» в действующую дискретную систему возможных значений параметров. И т.д.

Важное замечание 1. Обширность области «почти оптимальных» значений параметра — общее свойство оптимальных решений, получаемых путем минимизации гладких функций. Действительно, пусть необходимо минимизировать некоторую функцию $g(x)$, трижды дифференцируемую. Пусть минимум достигается в точке x_0 . Справедливо разложение Тейлора — Маклорена

$$g(x) = g(x_0) + \frac{dg(x_0)}{dx} (x - x_0) + \frac{1}{2} \frac{d^2g(x_0)}{dx^2} (x - x_0)^2 + O(x - x_0)^3.$$

Однако в x_0 выполнено необходимое условие экстремума (в данном случае — минимума)

$$\frac{dg(x_0)}{dx} = 0$$

Следовательно, с точностью до бесконечно малых более высокого порядка (по сравнению с $(x - x_0)^2$) справедливо равенство

$$g(x) - g(x_0) = \frac{1}{2} \frac{d^2g(x_0)}{dx^2} (x - x_0)^2. \quad (8.10)$$

Это соотношение показывает, что приращение значений минимизируемой функции — бесконечно малая более высокого порядка по сравнению с приращением независимой переменной. Если

$$x = x_0 + \varepsilon,$$

то

$$g(x) - g(x_0) = C\varepsilon^2,$$

где

$$C = \frac{1}{2} \frac{d^2 g(x_0)}{dx^2}.$$

Вернемся к классической модели управления запасами. Для нее надо рассматривать $f_1(Q)$ в роли $g(x)$. С помощью соотношения (10) заключаем, что

$$f_1(Q) - f_1(Q_0) = \frac{1}{2} \frac{d^2 f_1(Q_0)}{dQ^2} (Q - Q_0)^2.$$

с точностью до бесконечно малых более высокого порядка. Вычислим вторую производную $f_1(Q)$. Поскольку

$$\frac{df_1(Q)}{dQ} = \frac{d}{dQ} \left(\frac{\mu g}{Q} + \frac{sQ}{2} \right) = -\frac{\mu g}{Q^2} + \frac{s}{2},$$

то

$$\frac{d^2 f_1(Q)}{dQ^2} = \frac{d}{dQ} \left(-\frac{\mu g}{Q^2} + \frac{s}{2} \right) = \frac{2\mu g}{Q^3},$$

Теперь заметим, что

$$\frac{2\mu g}{Q_0} = \frac{\mu g}{\sqrt{\frac{2\mu g}{s}}} = \sqrt{2\mu g s} = f_1(Q_0)$$

Следовательно,

$$f_1(Q) - f_1(Q_0) = \frac{1}{2} \frac{f_1(Q_0)}{Q_0^2} (Q - Q_0)^2$$

с точностью до бесконечно малых более высокого порядка. Отличие этой формулы от точной формулы (8.9) состоит только в том, что Q в знаменателе одной из дробей заменено на Q_0 .

Устойчивость выводов в математической модели. Вполне ясно, что рассматриваемая классическая модель управления запасами, как и любые иные экономико-математические модели конкретных экономических явлений и процессов, является лишь приближением к реальности. Приближение может быть более точным или менее точным, но никогда не может полностью уловить все черты реальности. Поэтому с целью повышения адекватности получаемых на основе экономико-математической модели выводов целесообразно изучить устойчивость этих выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок модели [89, 92]. Выше изучено изменение средних издержек при малых отклонениях величины поставки.

Предположим теперь, что вместо истинных значений параметров μ , g , s нам известны лишь их приближенные значения $\mu^* = \mu + \Delta\mu$, $g^* = g + \Delta g$, $s^* = s + \Delta s$. Мы применяем план Вильсона, но с искаженным объемом партии

$$Q^* = Q^*(\mu^*, g^*, s^*) = \sqrt{\frac{2\mu^* g^*}{s^*}}.$$

Это приводит к возрастанию средних издержек. Согласно формулам (8.9) — (8.10) возрастание пропорционально $(\Delta Q)^2$ (с точностью до бесконечно малых более высокого порядка). Здесь

$$\Delta Q = Q^*(\mu^*, g^*, s^*) - Q_0(\mu, g, s).$$

Выделим в ΔQ главный линейный член:

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial \mu} \Delta\mu + \frac{\partial Q}{\partial g} \Delta g + \frac{\partial Q}{\partial s} \Delta s = \sqrt{\frac{g}{2\mu s}} \Delta\mu + \sqrt{\frac{\mu}{2gs}} \Delta g - \sqrt{\frac{\mu g}{2s^3}} \Delta s \quad (8.11)$$

(с точностью до бесконечно малых более высокого порядка).

Величину $\Delta\mu$ можно определить по фактическим данным о спросе, оценив величину отклонения реального спроса от линейного приближения [89], например, с помощью математического аппарата линейного регрессионного анализа [92]. Для определения значений параметров g и s необходимо проведение специальных трудоемких исследований. К тому же существуют различные методики расчета этих параметров, результаты расчетов по которым не совпадают. Поэтому естественно оценить разумную точность определения g и s по известной точности определения μ . Для этого воспользуемся «принципом уравнивания погрешностей», предложенным в [89].

Важное замечание 2. Принцип уравнивания погрешностей состоит в том, что погрешности различной природы должны вносить примерно одинаковый вклад в общую погрешность математической модели. Так, определение рационального объема выборки в статистике интервальных данных основано на уравнивании влияния метрологической и статистической погрешностей. Согласно подходу [89] выбор числа градаций в социологических анкетах целесообразно проводить на основе уравнивания погрешностей квантования и неопределенности в ответах респондентов [58]. В классической модели управления запасами целесообразно уравнивать влияние неточностей в определении параметров на отклонение целевой функции от оптимума.

Выберем Δg и Δs так, чтобы увеличение затрат, вызванное неточностью определения g и s , было таким же, как и вызванное неточностью определения μ . С точностью до бесконечно малых более высо-

кого порядка это означает, что необходимо уравнивать между собой три слагаемых в правой части формулы (8.11). После сокращения общего множителя получаем, что согласно принципу уравнивания погрешностей должно быть справедливо соотношение

$$\frac{|\Delta\mu|}{\mu} = \frac{|\Delta g|}{g} = \frac{|\Delta s|}{s}. \quad (8.12)$$

Таким образом, относительные погрешности определения параметров модели должны совпадать.

В соотношении (8.12) используются истинные значения параметров, которые неизвестны. Поэтому целесообразно вначале вместо параметров использовать их грубые оценки, из (8.12) определить их примерную точность, затем провести исследования, уточняющие значения параметров. Эту процедуру естественно повторять до тех пор, пока не произойдет некоторое уравнивание относительных погрешностей определения параметров модели.

8.6. МОДЕЛЬ С ДЕФИЦИТОМ

Классическая модель управления запасами может быть обобщена в различных направлениях. Одно из наиболее естественных обобщений — введение в модель возможности дефицита.

В рассматриваемой до сих пор модели предполагалось, что дефицит не допускается, то есть некоторое количество товара на складе всегда есть. Но, может быть, выгоднее сэкономить на расходах по хранению запаса, допустив небольшой дефицит — потребность в товаре в некоторые интервалы времени может остаться неудовлетворенной?

Как подсчитать убытки от дефицита, в частности от потери доверия потребителя? Будем считать, что если нет товара, владеющая складом организация платит штраф — каждый день пропорционально нехватке. По приходе очередной поставки все накопленные требования сразу же удовлетворяются.

Сохраним все предположения и обозначения рассматриваемой до сих пор модели, кроме отсутствия дефицита. Неудовлетворенный спрос будем рассматривать как отрицательный запас. График изменения величины запаса на складе изображен на рис. 8.3.

Очевидно, рис. 8.1 и рис. 8.3 отличаются только тем, что на последнем рисунке зубцы графика могут опускаться ниже оси абсцисс, что соответствует сдвигу графика рис. 8.1 как единого целого вниз вдоль оси ординат.

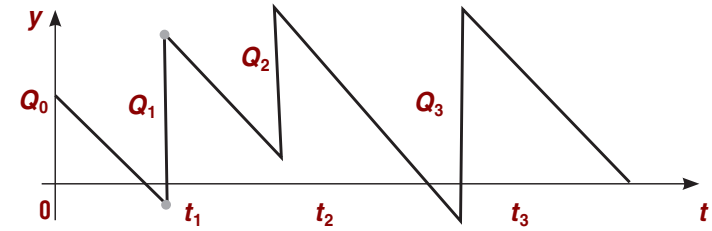


Рис. 8.3. График изменения величины запаса на складе при возможности дефицита

Пусть h — плата за нехватку единицы товара в единицу времени (например, в день). Тогда средние издержки за время T определяются формулой

$$f_1(T, y) = f_1(y(t)), 0 \leq t \leq T = \frac{1}{T} \left\{ s \int_0^T y(t) \chi(y(t) \geq 0) dt + h \int_0^T |y(t) \chi(y(t) < 0)| dt + gn(T) \right\},$$

где $\chi(A)$ — индикатор множества A , то есть $\chi(y(t) \geq 0) = 1$ при $y(t) \geq 0$ и $\chi(y(t) \geq 0) = 0$ при $y(t) < 0$, в то время как $\chi(y(t) < 0) = 1$ при $y(t) < 0$ и $\chi(y(t) < 0) = 0$ при $y(t) \geq 0$. Таким образом, площадь под частью графика уровня запаса, лежащей выше оси абсцисс, берется с множителем s , а площадь между осью абсцисс и частью графика $y(t)$, соответствующей отрицательным значениям запаса, берется с заметно большим по величине множителем h .

Для модели с дефицитом оптимальный план находится почти по той же схеме, что и для модели без дефицита. Сначала фиксируем моменты поставок и находим при этом условии оптимальные размеры поставок. Фактически речь идет о выборе уровня запаса Y в момент прихода очередной поставки (рис. 8.4).

Увеличивая или уменьшая Y , можно увеличивать или уменьшать площадь треугольника над осью абсцисс (учитываемую с коэффици-

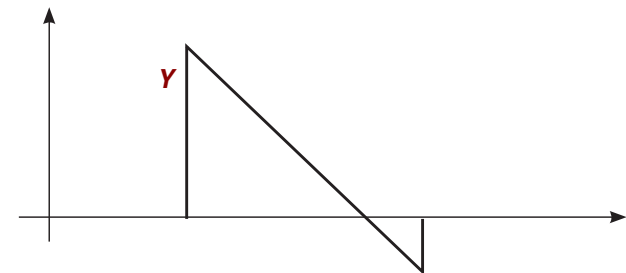


Рис. 8.4. Первый шаг построения оптимального плана в модели с дефицитом

ентом s) и соответственно уменьшать или увеличивать площадь треугольника под осью абсцисс (учитываемую с коэффициентом h), добиваясь минимизации взвешенной суммы этих площадей. Все элементы прямоугольных треугольников на рис. 8.4 выражаются через Y , заданный интервал времени между поставками и параметры модели. Минимизация соответствующего квадратного трехчлена дает оптимальное значение

$$Y = \frac{h}{s+h} \mu \Delta$$

При этом минимальная сумма затрат на хранение и издержек, вызванных дефицитом, равна

$$\frac{\Delta^2 \mu}{2} \frac{sh}{s+h}$$

Второй шаг нахождения оптимального плана в модели с дефицитом полностью совпадает с аналогичным рассуждением в исходной модели. Фиксируется число поставок, и с помощью варьирования размеров интервалов между поставками минимизируется целевой функционал. Поскольку сумма квадратов некоторого числа переменных при заданной их сумме достигает минимума, когда все эти переменные равны между собой, то оптимальным планом является план, у которого все зубцы одинаковы, то есть уровень запаса в момент прихода очередной поставки — всегда один и тот же. При этом все объемы поставок, за исключением объема начальной поставки (в нулевой момент времени), равны между собой:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots, Q_0 = \frac{h}{s+h} Q. \quad (8.13)$$

На третьем этапе среди указанного однопараметрического дискретного множества планов находим оптимальный план. Как и для модели без дефицита, в качестве ориентира используется план с размером поставки, определяемой по формуле квадратного корня,

$$Q_0(\mu, g, s, h) = \sqrt{\frac{2\mu g(s+h)}{sh}}.$$

Для горизонтов планирования T , кратных $Q_0(\mu, g, s, h)/\mu$, оптимальным является план вида (8.13) с $Q = Q_0(\mu, g, s, h)$. Для всех остальных горизонтов планирования, как и в случае модели без дефицита, необходимо найти неотрицательное целое число n такое, что

$$Q_1 = \frac{\mu T}{n+1} < Q_0(\mu, g, s, h) < \frac{\mu T}{n} = Q_2,$$

а затем, сравнив издержки для $Q = Q_1$ и $Q = Q_2$, объявить оптимальным то из этих двух значений, для которого издержки меньше.

Отметим, что модель без дефицита является предельным случаем для модели с дефицитом при безграничном возрастании платы за дефицит. В частности,

$$\lim_{h \rightarrow \infty} Q_0(\mu, g, s, h) = \sqrt{\frac{2\mu g}{s}}.$$

Как и в случае модели без дефицита, план с объемом поставки, определяемой по формуле квадратного корня, $Q = Q_0(\mu, g, s, h)$, является асимптотически оптимальным.

8.7. СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ВИЛЬСОНА

Классическая модель теории управления запасами, называемая также моделью Вильсона, допускает различные обобщения.

Одно из таких обобщений — модель с конечной скоростью поставки v , то есть модель, в которой за время Δt поставляется продукция объемом $v\Delta t$ (при наличии в то же время постоянного спроса с интенсивностью μ , причем считается, что $v > \mu$). Таким образом, в этой модели поставка происходит не мгновенно, а в течение некоторого интервала времени, причем объем поставляемой продукции линейно зависит от времени. Такие поставки будем называть линейными с интенсивностью v .

Другое обобщение классической модели связано с обобщением функции от объема запаса, задающей плату за хранение. В исходной модели считалось, что расходы за хранение пропорциональны объему продукции на складе. Естественно считать, что эти расходы должны содержать постоянный член a , не зависящий от объема продукции на складе (расходы на содержание самого склада, оплату работников и т.д.). Однако оптимальный план при таком обобщении не изменится. Действительно, в формуле для издержек добавится постоянный член a , и положение минимума не изменится при его добавлении.

Однако в модели с дефицитом ситуация иная. Затраты на хранение возникают только при наличии товара на складе, и издержки этого вида вполне естественно разделить на постоянные и переменные (пропорциональные объему запаса на складе).

Аналогично издержки, вызванные дефицитом, вполне естественно разделить на постоянные (вызванные самим фактом дефицита) и переменные (пропорциональные величине дефицита).

В классической модели плата за доставку партии не зависит от объема партии. Здесь используются только постоянные издержки.

Представляется вполне естественным ввести линейный член, соответствующий возрастанию платы за доставку в зависимости от величины партии (переменные издержки). (Ниже будет показано, что добавление этого члена не влияет на решение задачи оптимизации и вид оптимального плана.) Дальнейшее обобщение — введение скидок в зависимости от величины партии. Это приводит к выражению платы за доставку в виде квадратного трехчлена от объема партии.

Можно рассматривать одновременно несколько обобщений. В результате получаем систему моделей на основе классической модели управления запасами, состоящую из 36 моделей [95]. Каждая из них может быть описана набором четырех чисел ($a(1)$, $a(2)$, $a(3)$, $a(4)$). Каждое из этих чисел соответствует одному из рассмотренных выше видов обобщений исходной модели.

При этом $a(1) = 0$, если поставки мгновенные, и $a(1) = 1$, если поставки являются линейными с интенсивностью v , причем $v > \mu$.

Если плата за хранение продукции объемом u в течение единицы времени равна su , то $a(2) = 0$. Если же учтены постоянные (при наличии товара на складе) издержки, то есть указанная плата равна $su + a$, $a > 0$, то $a(2) = 1$.

Если плата за нехватку продукции объемом u в течение единицы времени бесконечна (то есть дефицит не допускается), то $a(3) = 0$. Если эта плата равна hu (рассмотренная выше модель с дефицитом), то $a(3) = 1$. Если же вводятся также постоянные издержки (плата за само наличие дефицита), то есть плата за нехватку продукции объемом u в течение единицы времени равна $hu + b$, $b > 0$, то $a(3) = 2$.

Наконец, $a(4) = 0$, если плата за доставку партии продукции объемом Q равна g . Если учитываются переменные издержки, то есть эта плата равна $g + g_1 Q$, то $a(4) = 1$. Если же в модели учитываются скидки на объем партии, то есть если плата за доставку партии продукции объемом Q равна $g + g_1 Q + g_2 Q^2$, то $a(4) = 2$.

Для $a(1)$ имеется два возможных значения, для $a(2)$ — тоже два, для $a(3)$ — три возможных значения, для $a(4)$ — тоже три. Всего имеется $2 \times 2 \times 3 \times 3 = 36$ возможных комбинаций, то есть 36 возможных моделей. Классическая модель управления запасами описывается набором $(0, 0, 0, 0)$, а модель с дефицитом — набором $(0, 0, 1, 0)$.

Рассмотрим наиболее обобщенную модель рассматриваемой системы. Она описывается набором $(1, 1, 2, 2)$. Можно показать, что для нее справедливы основные утверждения, касающиеся классической модели и модели с дефицитом. Однако «формула квадратного корня» имеет более сложный вид, а именно:

$$Q_0(\mu, v, s, a, h, b, g, g_1, g_2) = \sqrt{\frac{\mu g - \frac{(a-b)^2}{2(s+h)} \left(1 - \frac{\mu}{v}\right)}{\frac{sh}{2(s+h)} \left(1 - \frac{\mu}{v}\right) + \mu g_2}}.$$

В частности, план с $Q = Q_0(\mu, v, s, a, h, b, g, g_1, g_2)$ является асимптотически оптимальным.

Формула для $Q_0(\mu, v, s, a, h, b, g, g_1, g_2)$ позволяет обнаружить ряд любопытных эффектов. Так, в ней не участвует параметр g_1 . Другими словами, при любом изменении этого параметра оптимальный объем поставки не меняется. Если запас пополняется весьма быстро по сравнению со спросом, то есть $v \gg \mu$, то соответствующий множитель в «формуле квадратного корня» исчезает, и для моделей с $a(1) = 0$ получаем более простую формулу

$$Q_0(\mu, +\infty, s, a, h, b, g, g_1, g_2) = \sqrt{\frac{\mu g - \frac{(a-b)^2}{2(s+h)}}{\frac{sh}{2(s+h)} + \mu g_2}}.$$

Дальнейшее упрощение получаем при $a = b$. Это равенство означает, что постоянные (в другой терминологии — фиксированные) платежи за хранение и в связи с дефицитом совпадают, например равны 0. Если последнее утверждение справедливо, то

$$Q_0(\mu, +\infty, s, 0, h, 0, g, g_1, g_2) = \sqrt{\frac{\mu g}{\frac{sh}{2(s+h)} + \mu g_2}}.$$

Предположим теперь, что при доставке партии отсутствуют скидки (или надбавки) за размер партии. Тогда «формула квадратного корня» упрощается дальше и приобретает вид

$$Q_0(\mu, +\infty, s, 0, h, 0, g, g_1, g_2) = \sqrt{\frac{\mu g}{\frac{sh}{2(s+h)}}} = \sqrt{\frac{2\mu g(s+h)}{sh}}.$$

Эта формула уже была получена выше при рассмотрении модели с дефицитом. При безграничном возрастании h получаем формулу Вильсона для классической модели управления запасами:

$$Q_0(\mu, +\infty, s, 0, +\infty, 0, g, g_1, 0) = \sqrt{\frac{2\mu g}{s}}.$$

Новое в последних двух формулах — наличие в левой части параметра g_1 , не участвующего в формировании объема партии.

Важное замечание 3. Модели конкретных экономических (и не только) процессов и явлений обычно не встречаются и не изучаются поодиночке. Обычно имеется совокупность моделей, объединенных в систему, переходящих друг в друга при тех или иных предельных переходах. Часто более простые модели используются для расчетов, более сложные применяются для изучения точности, достигаемой с помощью более простых, согласно подходу, развитому в [92].

8.8. О ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ КЛАССИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Для отработки методики практического использования классической модели управления запасами был проведен эксперимент на снабженческо-сбытовой базе, а именно на Реутовской химбазе Московской области. Собраны и обработаны данные по одному из товаров, распространяемых этой организацией в большом объеме, — по кальцинированной соде. В качестве исходной информации о спросе использовались данные об ежедневном отпуске кальцинированной соды потребителям, зафиксированные на карточках складского учета. Рассчитана величина затрат на хранение как соответствующая доля общей суммы издержек по содержанию базы, а также расходы на доставку новых партий. Для определения расходов на хранение запасов использованы данные о заработной плате складского персонала (включая основную и дополнительную заработную плату, начисления на зарплату), расходах на содержание охраны, эксплуатацию складских зданий и сооружений, расходах по текущему ремонту, по таре, на приемку, хранение, упаковку и реализацию товаров, о величине амортизационных отчислений и др. Для расчета расходов на доставку новых партий товара использованы данные о расходах по заводу, о плате за пользование вагонами и контейнерами сверх установленных норм, расходах на содержание и эксплуатацию подъемно-транспортных механизмов, о заработной плате работников, занятых в процессе доставки товара, канцелярских, почтовых и телеграфных расходах и др.

Полезным оказалось вытекающее из «принципа уравнивания погрешностей» соотношение (8.12). Интенсивность спроса μ и погрешность определения этого параметра найдены методом наименьших квадратов. Это дало возможность установить величину относительной точности определения параметров модели, вытекающих из величин погрешностей исходных данных для спроса. Параметры классической модели управления запасами g и s оценивались двумя способами — по

методике Всесоюзного института материально-технического снабжения и по методике Центрального экономико-математического института АН СССР. Для каждой из методик с помощью соотношения (8.12) были определены абсолютные погрешности определения параметров g и s . Оказалось, что для каждой из методик интервалы $(s - \Delta s, s + \Delta s)$ и $(g - \Delta g, g + \Delta g)$ таковы, что числа, рассчитанные по альтернативной методике, попадают внутрь этих интервалов. Это означает, что для определения параметров g и s можно пользоваться любой из указанных методик (в пределах точности расчетов, заданной наблюдаемыми колебаниями спроса).

Вызванное отклонениями параметров модели в допустимых пределах максимальное относительное увеличение суммарных затрат на доставку и хранение продукции не превосходило 26% (колебания по кварталам от 22,5% до 25,95%). Фактические издержки почти в 3 раза превышали оптимальные (в зависимости от квартала фактические издержки составляли от 260% до 349% от оптимального уровня). Следовательно, внедрение модели Вильсона в практику управления запасами на Реутовской химбазе дает возможность снизить издержки, связанные с доставкой и хранением кальцинированной соды не менее чем в 2 раза [17].

Таким образом, несмотря на то, что параметры модели определены неточно и отклонения значений параметров (от тех значений, по которым рассчитывается оптимальный план поставок) приводят к некоторому увеличению затрат по сравнению с затратами в оптимальном плане, использование рассматриваемой модели для реального управления запасами конкретной продукции может дать значительный экономический эффект. Аналогичным является положение со многими другими моделями управления запасами. Это утверждение подтверждает и зарубежный опыт, проанализированный в монографии [89].

Методологически важным является тот факт, что оптимальный план управления запасами нельзя найти на основе формулы квадратного корня [70].

8.9. ДВУХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Создание любой автоматизированной системы управления материально-техническим снабжением (в другой терминологии — процессами логистики), базирующейся на комплексе экономико-математических моделей, должно включать в себя разработку (в качестве блоков) моделей деятельности отдельных баз (складов). Поэтому боль-

шое внимание уделяется проблеме построения оптимальной политики управления запасами на базе (складе). Экономико-математическую теорию удастся развивать в основном для однопродуктовых моделей.

Двухуровневая модель управления запасами — это однопродуктовая модель работы склада, в которой заявки потребителей удовлетворяются мгновенно. При отсутствии продукта заявки учитываются. Как только запас на складе опускается до уровня $R < 0$, мгновенно поступает партия товара величиной Q и запас на складе оказывается равным $R + Q > 0$. Как и в рассмотренном выше варианте классической модели Вильсона с дефицитом, издержки складываются из издержек по хранению, издержек от дефицита и издержек по доставке. Средние издержки за время T имеют вид

$$f_1(T, y) = f_1(y(t)), 0 \leq t \leq T = \frac{1}{T} \left\{ s \int_0^T y(t) \chi(y(t) \geq 0) dt + h \int_0^T |y(t)| \chi(y(t) < 0) dt + gn(T) \right\},$$

где $y(t)$ — уровень запаса на складе, $\chi(A)$ — индикатор множества A , то есть $\chi(y(t) \geq 0) = 1$ при $y(t) \geq 0$ и $\chi(y(t) > 0) = 0$ при $y(t) < 0$, в то время как $\chi(y(t) < 0) = 1$ при $y(t) < 0$ и $\chi(y(t) < 0) = 0$ при $y(t) \geq 0$, параметры модели s, h, g имеют тот же смысл, что и выше. Оптимизация состоит в определении значений нижнего уровня R и верхнего уровня $R + Q$, минимизирующих средние издержки.

В 1950-х годах американский исследователь К. Эрроу (в будущем — нобелевский лауреат по экономике) с сотрудниками показали, что в ряде случаев оптимальная политика управления запасами — это политика, основанная на двух уровневой модели [89]. Этот принципиально важный теоретический результат стимулировал развитие исследований свойств двухуровневой модели. Однако окончательная теория была в основном построена только в конце 1970-х годов [89], доработанный вариант опубликован в 2016 г. [58].

Важными являются характеристики потока заявок. Пусть $\tau(T)$ — число заявок за время T . Эта величина предполагается случайной. С прикладной точки зрения вполне естественно предположить, что математическое ожидание $M\tau(T)$ конечно. Накопленный спрос за время T имеет вид

$$X(T) = X_1 + X_2 + \dots + X_{\tau(T)},$$

где X_j — величина j -й заявки. Предполагается, что $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ — последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин с математическим ожиданием MX_1 . Таким образом, накопленный спрос за время T является суммой случайного числа слу-

чайных слагаемых. Накопленный спрос определяет уровень запаса на складе, поэтому математический аппарат изучения двухуровневой модели — это предельная теория сумм случайного числа случайных слагаемых.

При некоторых условиях регулярности (выполняющихся для реальных систем управления запасами) в [58, 89] найдены оптимальные (для горизонта планирования T) значения нижнего и верхнего уровней:

$$R_0(T) = \sqrt{\frac{2gsM\tau(T)MX_1}{Tsh(s+h)}},$$

$$Q_0(T) = \sqrt{\frac{2g(s+h)M\tau(T)MX_1}{Tsh}}.$$

Часто можно принять, что число поступающих заявок обладает некоторой равномерностью. Например, вполне естественно принять, что

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{M\tau(T)}{T} = \lambda$$

при некотором λ . Здесь λ — параметр, описывающий предельную интенсивность спроса. Тогда асимптотически оптимальные уровни имеют вид:

$$R_0 = \sqrt{-\frac{2gs\lambda MX_1}{h(s+h)}},$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2g(s+h)\lambda MX_1}{sh}}.$$

Отметим, что асимптотическое распределение уровня запаса на складе — равномерное на отрезке $[R, R + Q]$.

8.10. МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕРОВ ПОСТАВОК НА БАЗУ (СКЛАД)

В двухуровневой модели накопленный спрос в любой момент времени является случайной величиной. Это не всегда соответствует экономической реальности. Достаточно часто в соответствии с заключенными договорами размеры поставок на базу и объемы запрашиваемой потребителями продукции определены до начала года (с разбивкой по кварталам или по месяцам) и затем не меняются. Однако поставщик имеет право отгружать продукцию, а потребители — забирать ее в течение всего квартала (или месяца).

Опишем соответствующую однопродуктовую модель [99]. Пусть интервал планирования разбит на m периодов, не обязательно одина-

ковых по продолжительности. В течение каждого периода приходит на базу одна поставка. В i -й период ее величина равна H_i , а момент поступления — случайная величина $\tau(i)$ с функцией распределения $G(i, t)$, $0 \leq t \leq 1$, где t — отношение времени, прошедшего с начала i -го периода, к продолжительности его, $i = 1, 2, \dots, m$.

В i -й период имеется $n(i)$ потребителей, получающих с базы строго определенное количество продукта, $c(1, i)$, $c(2, i)$, ..., $c(n(i), i)$ соответственно. Моменты поступления требований от потребителей — случайные величины $\delta(i, j)$, $j = 1, 2, \dots, n(i)$, $i = 1, 2, \dots, m$, с функциями распределения $F(i, j, t)$, $0 \leq t \leq 1$, где t — отношение времени, прошедшего после начала соответствующего периода, к продолжительности этого периода. Если в момент прихода требования на базе имеется достаточное количество продукта, то он отпускается мгновенно. Если продукта нет, то потребителю придется ждать очередной поставки. Если продукта недостаточно, то весь оставшийся товар отпускается сейчас же, а оставшуюся часть приходится ждать.

В течение i -го периода, $i = 1, 2, \dots, m$, все моменты поступления товара и требований $\tau(i)$, $\delta(i, j)$, $j = 1, 2, \dots, n(i)$, предполагаются независимыми в совокупности. Потери, как обычно, складываются из издержек по хранению и от дефицита (расходы на доставку партий заданы заранее, то есть постоянны, а потому их можно не включать в минимизируемый функционал). Издержки по хранению предполагаются пропорциональными времени хранения и величине запаса с коэффициентами пропорциональности $s(i)$, $i = 1, 2, \dots, m$. Издержки от дефицита складываются из потерь у каждого из потребителей; они пропорциональны величине и длительности дефицита с коэффициентами пропорциональности $h(i, j)$, $j = 1, 2, \dots, n(i)$, $i = 1, 2, \dots, m$.

Пусть $x(0)$ — начальный запас, $x(i)$ — количество продукта на базе в конце i -го периода, $i = 1, 2, \dots, m$. Пусть $S(i) = \{s(i), c(j, i), h(i, j), G(i, t), F(i, j, t), 0 \leq t \leq 1, j = 1, 2, \dots, n(i)\}$ — исходные данные модели в i -й период. Как легко видеть, математическое ожидание издержек за i -й период зависит только от $x(i-1)$, $x(i)$ и $S(i)$. Для краткости обозначим его через $f(x(i-1), x(i), S(i))$. Тогда математическое ожидание издержек за m периодов равно

$$Z(m) = f(x(0), x(1), S(1)) + f(x(1), x(2), S(2)) + \dots + f(x(i-1), x(i), S(i)) + \dots + f(x(m-1), x(m), S(m)).$$

Необходимо минимизировать $Z(m) = Z(x(0), x(1), \dots, x(i), \dots, x(m))$ по совокупности переменных. Таким образом, необходимо найти оптимальные значения уровней запаса на складе в начале и в конце периодов. Это эквивалентно определению оптимальных размеров поставок

по периодам и начального запаса. Ограничения рассматриваемой оптимизационной задачи выписаны в [89, 99].

Вначале была сделана попытка рассматривать задачу минимизации $Z(m)$ как задачу динамического программирования и решать ее типовыми методами. Однако вычислительных мощностей оказалось недостаточно для выполнения расчетов. Тогда нам удалось показать, что функция $(m+1)$ -го переменного $Z(m)$ в действительности является суммой $(m+1)$ функции одного переменного.

Действительно,

$$f(x(i-1), x(i), S(i)) = f_1(x(i-1), x(i), S(i)) + f_2(x(i-1), x(i), S(i)),$$

где $f_1(x(i-1), x(i), S(i))$ — математическое ожидание затрат, произведенных до прихода очередной поставки, $f_2(x(i-1), x(i), S(i))$ — математическое ожидание затрат после поступления поставки.

Ясно, что $f_1(x(i-1), x(i), S(i))$ определяется запасом на начало периода и спросом до прихода поставки, но не зависит от запаса на конец периода, то есть от $x(i)$. Таким образом, можно записать, что

$$f_1(x(i-1), x(i), S(i)) \equiv f_1(x(i-1), S(i)).$$

Пусть H_i — объем поставки на склад в i -й период. Сразу же после прихода поставки запас y на складе равен

$$y(\tau(i)) = x(i-1) + H_i - \xi(\tau(i)) = x(i) + \sum_{1 \leq j \leq n(i)} c(i, j) - \xi(\tau(i)),$$

где $\xi(\tau(i))$ — накопленный с начала периода спрос. Поскольку $\xi(\tau(i))$ не зависит от $x(i-1)$, то и $f_2(x(i-1), x(i), S(i))$ не зависит от $x(i-1)$. Итак,

$$f_2(x(i-1), x(i), S(i)) \equiv f_2(x(i), S(i)).$$

Следовательно, минимизируемая функция имеет вид

$$Z(m) = f_1(x(0), S(1)) + \sum_{1 \leq i \leq m-1} \{f_2(x(i), S(i)) + f_1(x(i), S(i+1))\} + f_2(x(m), S(m))$$

При этом ограничения наложены на каждую переменную $x(i)$ по отдельности [89, 99]. Ясно, что задача минимизации $Z(m)$ распадается на $m+1$ задачу минимизации функций одной переменной:

$$f_1(x(0), S(1)) \rightarrow \min,$$

$$f_2(x(i), S(i)) + f_1(x(i), S(i+1)) \rightarrow \min, \quad (8.14)$$

$$i = 1, 2, \dots, m-1,$$

$$f_2(x(m), S(m)) \rightarrow \min$$

(ограничения не указаны). Следовательно, $x(k)$ зависит только от исходных данных смежных периодов $S(k)$ и $S(k+1)$ и остается неизменным при любом изменении $S(i)$, $i \neq k$, $i \neq k+1$. Из указанного раз-

ложения задачи многомерной оптимизации на ряд задач одномерной оптимизации вытекает также, что при планировании на $m(1)$ и $m(2)$ периодов совпадают оптимальные значения начального запаса и поставок за первые $\min\{m(1), m(2)\} - 1$ периодов. В частном случае стационарного режима $S(i) = S, i = 1, 2, \dots, m$, оптимальный план имеет вид $\{a, b, b, \dots, b, \dots, b, c\}$, где a — решение первой из указанных в (14) задач, b — решение второй задачи и c — третьей.

Переход к задачам (8.14) не только позволяет решить исходную задачу минимизации (напомним, что для минимизации задачи в исходной форме не хватало вычислительных мощностей), но также получить весьма важный для экономической интерпретации вывод о независимости оптимальных значений поставок и начального запаса от горизонта планирования m .

Важное замечание 4. Рассмотренная модель дает хороший пример пользы математического анализа оптимизационной задачи принятия решений [69]. Такой анализ позволяет решать задачу не стандартными методами, требующими больших вычислительных ресурсов, а с помощью специально разработанных алгоритмов, учитывающих специфику задачи и позволяющих на много порядков сократить вычисления. Плата за экономию вычислительных ресурсов — необходимость квалифицированного труда специалистов по организационно-экономическим методам и прикладной математике.

В настоящее время логистика — одна из экономических дисциплин, весьма развитая как в теоретическом, так и в практическом отношении. В ней рассматривается масса конкретных моделей управления запасами. Из перспективных направлений назовем использование случайных множеств в моделях логистики [89, гл.5]. Моделирование с целью нахождения оптимальных решений выше было продемонстрировано на примерах системы моделей, исходящих из классической модели Вильсона, двухуровневой модели, модели оптимизации объемов поставок на базу (склад).

Приведенные в главе 8 результаты показывают, что стремиться к минимизации запасов, вообще говоря, не следует. Нужны не минимальные запасы, а оптимальные.

Контрольные вопросы и задания

1. На складе хранится некоторая продукция, пользующаяся равномерным спросом. За 1 день со склада извлекается 0,5 т продукции, плата за хранение 1 т продукции в день — 2 тыс. руб., плата за доставку одной партии — 50 тыс. руб. Планирование производится на 21 день. Найдите оптимальный план.

2. В условиях задачи 1 на сколько процентов затраты в плане Вильсона (объем партии определяется по формуле квадратного корня) превышают затраты в оптимальном плане?
3. Оцените увеличение затрат в плане Вильсона (объем партии определяется по формуле квадратного корня) по сравнению с оптимальным планом за целое число периодов, если размер партии отличается от оптимального не более чем на 5%.
4. Каким образом концепция асимптотически оптимального плана позволяет решить проблему горизонта планирования при принятии логистических решений?
5. На складе хранится некоторая продукция, пользующаяся равномерным спросом. За 1 день со склада извлекается 0,5 т продукции, плата за хранение 1 т продукции в день — 2 тыс. руб., плата за дефицит 1 т продукции в день — 10 тыс. руб., плата за доставку одной партии — 50 тыс. руб. Планирование производится на 21 день. Найдите оптимальный план в модели с дефицитом и сравните его с планом, найденным при решении задачи 1.
6. Чем двухуровневая модель управления запасами отличается от модели Вильсона?
7. В чем состоит основной вклад прикладной математики при разработке модели планирования оптимальных размеров поставок и начального запаса?
8. Следует ли стремиться к минимизации запасов?

Темы докладов и рефератов

1. Место теории управления запасами в современной логистике.
2. Специфика решения задачи оптимизации при анализе классической модели работы склада.
3. Проблемы, возникающие при практическом применении моделей управления запасами.
4. Концепция страхового запаса и модель Вильсона.
5. В каком смысле оптимальна двухуровневая модель управления запасами?
6. Современная логистика в системе организационно-экономических методов принятия решений при управления организацией.
7. Оптимальные методы управления запасами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная, прикладная и учебная дисциплина, посвященная методам принятия управленческих решений, в настоящее время быстро развивается. Происходит смена парадигмы (совокупности ценностей, методов, технических навыков и средств, принятых в научном сообществе в рамках устоявшейся научной традиции в определенный период времени) — переход от подходов 50-х годов XX в. к современным [67]. Настоящий учебник написан в рамках новой парадигмы, и мы надеемся, что он будет полезным по крайней мере до середины XXI в.

Составление учебника — всегда отбор научных результатов. Кратко обсудим некоторые перспективные подходы теории и практики разработки и принятия управленческих решений, которые остались за пределами настоящего учебника.

Прежде всего обратим внимание на современные статистические методы. Их точки роста, методология, основные нерешенные проблемы обсуждаются в заключительных главах нашего учебника «Прикладная статистика» [76]. Обратим внимание на концепцию высоких статистических технологий, а также на компьютерно-статистические методы — синтез информационных технологий и асимптотической математической статистики.

Центральной областью современной прикладной статистики является нечисловая статистика [72], а нечеткие множества — частный случай нечисловых данных. Они весьма перспективны с прикладной точки зрения. И с теоретической тоже — хотя уже более 40 лет назад установлено, что теория нечетких множеств в определенном смысле сводится к теории случайных множеств [82, 87], дальнейшая проработка этой связи между двумя теориями сулит не только теоретические продвижения, но и создание новых эффективных методов разработки и принятия управленческих решений.

Неопределенности реальных явлений и процессов можно описывать с помощью вероятностно-статистических, нечетких и интервальных моделей. Статистика интервальных данных достаточно подробно изложена в [76, 88, 96], поэтому в настоящем учебнике о ней нет ни слова. Подчеркнем высокую прикладную значимость этого раздела нечисловой статистики.

Процессы разработки и принятия решений реализуются в реальных ситуациях с достаточно высоким уровнем неопределенности.

Велика роль нечисловой информации как на «входе», так и на «выходе» процесса принятия управленческого решения. Неопределенность и нечисловая природа управленческой информации должны быть отражены при анализе устойчивости экономико-математических методов и моделей. Для обоснованного практического применения математических моделей процессов управления промышленными предприятиями и основанных на них экономико-математических методов должна быть изучена их устойчивость по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок моделей. Общая схема изучения проблем устойчивости разработана в [89, 91], ряд конкретных постановок проблем устойчивости в математических методах и моделях теории принятия решений разобраны выше в настоящем учебнике. Если же обратить внимание на необходимость изучения устойчивости по отношению к изменению данных (статистика интервальных и нечетких данных), объема данных (асимптотическая статистика) и особенно к изменению распределения данных (непараметрическая и робастная статистика), то приходится констатировать, что эта тематика пронизывает все содержание настоящего учебника.

От математических моделей и моделей перейдем к предметной области — менеджменту, инновациям, контроллингу [97, 98]. Выделим четыре актуальных направления работ.

В настоящее время только создается единая теория риска. Даже единая классификация рисков пока не утвердилась (см. главу 6 настоящего учебника и [65, 92]). Однако можно с уверенностью прогнозировать, что в ближайшие годы на предприятиях и в организациях будут созданы службы управления риском во главе с одним из топ-менеджеров. Директор по рискам займет место рядом с финансовым директором, главным инженером и директором по маркетингу и сбыту.

Экологический менеджмент уже интегрирован в системы управления предприятиями (в соответствии со стандартами ИСО серии 14000). Но этого мало. Предсказываем, что социально-экологические проблемы управления будут все более актуальными в современных условиях [79, 101].

Современные технологии управления сконцентрированы вокруг концепции контроллинга [23, 97, 98]. Одна из основных функций контроллинга — информационно-аналитическая поддержка процессов принятия решений на предприятиях и в организациях. Службы контроллинга играют все более важную роль в совершенствовании процессов управления на базе интенсивного использования информационных технологий.

Солидарная информационная экономика (СИЭ) развивается нами как методологическая основа конкретных исследований в области экономики и менеджмента [98]. Одна из ее целей — выявить основные черты экономики будущего на период стратегического планирования (на 20–30 лет) государства и крупных корпораций. Перспективные организационно-экономические механизмы управления производственно-хозяйственной деятельностью, разработки и принятия управленческих решений предлагаем конструировать на основе СИЭ. Эта новая организационно-экономическая теория находится на стыке теории управления, экономики и прогностики.

Итак, теория принятия решений бурно развивается. Невозможно даже упомянуть все ее перспективные направления. Здесь, на последних страницах учебника, мы указали лишь на некоторые работы нашего коллектива — научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Быстрое развитие приводит к некоторой несогласованности отдельных разделов рассматриваемой теории. Так, широко распространенные линейные рейтинги (см. главу 5 выше) не являются адекватными с точки зрения теории измерений (см. главу 4).

Для нахождения единого мнения комиссии экспертов предложено много методов. Интересно сравнить медиану Кемени и среднее по Кемени (когда в минимизируемой сумме вместо расстояний стоят квадраты расстояний).

К сожалению, бессмысленно искать оптимальный метод. Во-первых, неясен критерий оптимальности. Во-вторых, в хорошо изученных ситуациях (например, при статистической проверке однородности двух независимых выборок [76]) имеется несколько критериев оптимальности, каждому из которых соответствует свой метод расчета, и наоборот, каждому естественному методу расчета соответствует свой критерий оптимальности, по которому этот метод является оптимальным. Так что остается неясным, какой метод расчета (и соответственно какой метод оптимальности) выбрать для анализа конкретных данных.

Очевидно, необходимо дальнейшее развитие исследований.

1. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. — М. : УРСС, 2001. — 128 с.
2. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях / под ред. В.Г. Андреевкова, А.И. Орлова, Ю.Н. Толстой — М. : Наука, 1985. — 220 с.
3. Балабанов И.Т. Риск-менеджмент. — М. : Финансы и статистика, 1996. — 192 с.
4. Барский Б.В., Соколов М.В. Средние величины, инвариантные относительно допустимых преобразований шкалы измерения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2006. — Т. 72. — № 1. — С. 59–66.
5. Бестужев-Лада И.В. Окно в будущее : Современные проблемы социального прогнозирования. — М. : Мысль, 1970. — 269 с.
6. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. — М. : Наука, 1983. — 416 с.
7. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. — М. : ИЛ, 1960. — 436 с.
8. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. 2-е издание. — М. : Советское радио, 1968. — 326 с.
9. Винер Н. Кибернетика и общество. — М. : Изд-во иностранной литературы, 1958. — 200 с.
10. Вологжанина С.А., Орлов А.И. Об одном подходе к оценке рисков для малых предприятий (на примере выполнения инновационных проектов в вузах) // Подготовка специалистов в области малого бизнеса в высшей школе. Сборник научных статей. — М. : Изд-во ООО «ЭЛИКС +», 2001. С. 40–53.
11. Гаврилец Ю.Н. Социально-экономическое планирование : Системы имодели. — М. : Экономика, 1974. — 174 с.
12. Гвозденко А.А. Основы страхования. — М. : Финансы и статистика, 1998. — 304 с.
13. Гельфанд И.М., Алексеевская М.А., Губерман Ш.А. и др. Прогнозирование исхода инфаркта миокарда с помощью программы «Кора-3» // Кардиология. — 1977. — Т. 17. — № 6. — С. 19–23.
14. Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А. Очерки о совместной работе математиков и врачей. — 2-е изд., доп. — М. : УРСС, 2004. — 320 с.
15. Горский В.Г., Гриценко А.А., Орлов А.И. Метод согласования кластеризованных ранжировок // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 3. — С. 159–167.
16. Деловое планирование: Методы. Организация. Современная практика. — М. : Финансы и статистика, 1997. — 368 с.
17. Душкесас Р.Ф. Проблемы устойчивости в классической модели управления запасами. Дипломная работа. М. : Ф-т экономической кибернетики МИНХ им. Г.В. Плеханова, 1977. — 70 с.
18. Жихарев В.Н., Орлов А.И. Законы больших чисел и состоятельность статистических оценок в пространствах произвольной природы // Статисти-

ческие методы оценивания и проверки гипотез. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 12. — Пермь : Изд-во Пермского государственного университета, 1998. — С. 65—84.

19. Жуков М.С. Об алгоритмах расчета медианы Кемени // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. — Т. 83. — № 7. — С. 72—78.

20. Загоруйко Н.Г. Эмпирическое предсказание. — Новосибирск : Наука, 1979. — 124 с.

21. Закон РФ «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 № 174-ФЗ (с изменениями на 15.04.1998, 22.08.2004, 21.12.2004) // Собрание законодательства Российской Федерации № 48, 27.11.95, ст. 4556; Российская газета. — 1995. — 30 ноября.

22. Карминский А.М. Кредитные рейтинги и их моделирование. — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. — 304 с.

23. Карминский А.М., Оленев Н.И., Примаков А.Г., Фалько С.Г. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях. — М. : Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

24. Кемени Дж., Снелл Дж. Кибернетическое моделирование : Некоторые приложения. — М. : Советское радио, 1972. — 192 с.

25. Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. — М. : Наука, 1976. — 736 с.

26. Кендэл М. Ранговые корреляции. — М. : Статистика, 1975. — 216 с.

27. Киселев Н.И. Экспертно-статистический метод определения функции предпочтения по результатам парных сравнений объектов // Алгоритмическое и программное обеспечение прикладного статистического анализа. — М. : Наука, 1980. — С. 111—123.

28. Колмогоров А.Н. Об определении среднего // Колмогоров А.Н. Избранные труды : Математика и механика. — М. : Наука, 1985. — С. 136—138.

29. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. — М. : Наука, 1972. — 496 с.

30. Крамер Г. Математические методы статистики. — М. : Мир, 1975. — 648 с.

31. Красильников В.В. Статистика объектов нечисловой природы. — Набережные Челны : Изд-во Камского политехнического института, 2001. — 144 с.

32. Кривцов В.С., Орлов А.И., Фомин В.Н. Современные статистические методы в стандартизации и управлении качеством продукции / Стандарты и качество. — 1988. — № 4. — С. 32—36.

33. Кузьмин В.Б., Овчинников С.В. Модель для измерений в порядковых шкалах // Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. — М. : Наука, 1974. — С. 384—388.

34. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения : учебник. — 2-е изд. — М. : Дело, 2001. — 392 с.

35. Литвак Б.Г. Экспертиза в России // Заводская лаборатория. — 2000. Т. 66. — № 7. — С. 61—66.

36. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. — М. : Радио и связь, 1982. — 184 с.

37. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М. : Патент, 1996. — 271 с.

38. Лойко В.И., Луценко Е.В., Орлов А.И. Современные подходы в наукометрии : монография / под науч. ред. проф. С.Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2017. — 532 с.

39. Лындина М.И., Орлов А.И. Математическая теория рейтингов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2015. — № 114. — С. 1—26.

40. Лындина М.И., Орлов А.И. Методы прогнозирования для ракетно-космической промышленности // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. — № 103. — С. 196—221.

41. Льюис Р., Галантер Е. Психофизические шкалы // Психологические измерения. — М. : Мир, 1967. — С. 111—195.

42. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс : Принципы, проблемы и политика. М. : ИНФРА-М, 2003. — 972 с.

43. Маниловский Р.Г. Бизнес-план. — М. : Финансы и статистика, 1998. — 160 с.

44. Менеджмент : учебное пособие / под ред. Ж.В. Прокофьевой. — М. : Знание, 2000. — 288 с.

45. Методология проведения экспертных исследований, реализованная в АРМ «МАТЭК» (МАТематика в ЭКспертизе) / А.И. Орлов, В.Н. Жихарев, В.А. Цупин, В.А. Васюкевич // Управление большими системами. Материалы Международной научно-практической конференции (22—26 сентября 1997 г., Москва, Россия). — М. : СИНТЕГ, 1997. — С. 240—240.

46. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. М. : Наука, 1973. — 256 с.

47. Моисеев Н.Н. Люди и кибернетика. — М. : Молодая гвардия, 1984. — 224 с.

48. Науман Э. Принять решение — но как? : пер. с нем. — М. : Мир, 1987. — 198 с.

49. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска / В.Г. Горский, Г.А. Моткин, Т.Н. Швецова-Шиловская и др. — М. : Экономика и информатика, 2002. — 260 с.

50. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. — М. : Мир, 1975. — 502 с.

51. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. — М. : СИНТЕГ. — 668 с.

52. Новиков Д.А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи). — М. : МЗ-Пресс, 2004. — 67 с.

53. Новиков Д.А., Новачадов В.В. Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи). — Волгоград : Изд-во ВолГМУ, 2005. — 87 с.

54. Носовский Г.В., Фоменко А.Т. Империя. Русь, Турция, Китай, Европа, Египет. Новая математическая хронология древности. — М. : Факториал, 1996. — 752 с.

55. Носовский Г.В., Фоменко А.Т. Царь славян. — СПб. : Нева, 2004. — 564 с.

56. Окстоби Дж. Мера и категория. — М. : Мир, 1974. — 158 с.

57. Орлов А.И. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Политематический сетевой элек-

тронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 102. — С. 78—111.

58. Орлов А.И. Асимптотика квантования, выбор числа градаций в социологических анкетах и двухуровневая модель управления запасами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2016. — № 123. — С. 660—687.

59. Орлов А.И. Асимптотика решений экстремальных статистических задач // Анализ нечисловых данных в системных исследованиях. Сборник трудов. Вып. 10. — М. : Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1982. — С. 4—12.

60. Орлов А.И. Грядущая смута 2012 года // Вестник Академии Прогнозирования (Исследований Будущего). — 2004. — № 12 / Труды Академии прогнозирования. 2004. Вып. 9. — С. 42—45.

61. Орлов А.И. Допустимые преобразования в задаче сравнения средних. Пси-постоянные статистики // Алгоритмы многомерного статистического анализа и их применения. — М. : ЦЭМИ АН СССР, 1975. С. 121—127.

62. Орлов А.И. Допустимые средние в некоторых задачах экспертных оценок и агрегирования показателей качества // Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. — М. : Наука, 1974. — С. 388—394.

63. Орлов А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. — М. : Знание, 1980. — 64 с.

64. Орлов А.И. Менеджмент : организационно-экономическое моделирование : учебное пособие для вузов. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 475 с.

65. Орлов А.И. Многообразие рисков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2015. — № 111. — С. 53—80.

66. Орлов А.И. Некоторые вероятностные вопросы теории классификации // Прикладная статистика. Ученые записки по статистике. — Т. 45. — М. : Наука, 1983. — С. 166—179.

67. Орлов А.И. Новая парадигма математических методов экономики // Экономический анализ : теория и практика. — 2013. — № 36. — С. 25—30.

68. Орлов А.И. Новый подход к изучению устойчивости выводов в математических моделях // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 100. — С. 146—176.

69. Орлов А.И. Оптимальные методы в экономике и управлении. Учебное пособие по курсу «Организационно-экономическое моделирование». — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. — 44 с.

70. Орлов А.И. Оптимальный план управления запасами нельзя найти на основе формулы квадратного корня // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2015. — № 106. — С. 270—300.

71. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование : теория принятия решений : учебник. — М. : КНОРУС, 2011. — 568 с.

72. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 ч. Ч. 1 : Нечисловая статистика. Гриф УМО. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — 542 с.

73. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 ч. Ч. 2. Экспертные оценки. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 486 с.

74. Орлов А.И. О перестройке статистической науки и ее применений // Вестник статистики. 1990 — № 1 — С. 65—71.

75. Орлов А.И. Последствия принятия решений для научно-технического и экономического развития // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2015. — № 113. — С. 355—387.

76. Орлов А.И. Прикладная статистика : учебник. — М. : Экзамен, 2006. — 671 с.

77. Орлов А.И. Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений. — М. : ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д : Издательский центр «МарТ», 2005. — 496 с.

78. Орлов А.И. Про управление запасами // Подготовка студентов педагогических институтов к внеурочной работе по математике. — Вологда : ВГПИ, 1975. — С. 10—20.

79. Орлов А.И. Проблемы управления экологической безопасностью. Итоги двадцати лет научных исследований и преподавания. — Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2012. — 344 с.

80. Орлов А.И. Прогностическая сила — наилучший показатель качества алгоритма диагностики // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 99. — С. 33—49.

81. Орлов А.И. Расстояния в пространствах статистических данных // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 101. — С. 227—252.

82. Орлов А.И. Связь между нечеткими и случайными множествами : Нечеткие толерантности // Исследования по вероятностно-статистическому моделированию реальных систем. — М. : ЦЭМИ АН СССР, 1977. — С. 140—148.

83. Орлов А.И. Связь между средними величинами и допустимыми преобразованиями шкалы // Математические заметки. — 1981. — Т. 30. — № 4. — С. 561—568.

84. Орлов А.И. Современное состояние контроллинга рисков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 98. — С. 933—942.

85. Орлов А.И. Средние величины и законы больших чисел в пространствах произвольной природы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — № 89. — С. 175—200.

86. Орлов А.И. Сценарии социально-экономического развития России до 2007 г. // Обозреватель — Observer. — 1999. — № 10. — С. 47—50.

87. Орлов А.И. Теория нечетких множеств — часть теории вероятностей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — № 92. — С. 51—60.
88. Орлов А.И. Теория принятия решений. — М. : Экзамен, 2006. — 576 с.
89. Орлов А.И. Устойчивость в социально-экономических моделях. — М. : Наука, 1979. — 296 с.
90. Орлов А.И. Устойчивые математические методы и модели // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2010. — Т. 76. — № 3. — С. 59—67.
91. Орлов А.И. Устойчивые экономико-математические методы и модели. — Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2011. — 436 с.
92. Орлов А.И. Эконометрика : учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Экзамен, 2004. — 576 с.
93. Орлов А.И. Экспертные оценки // Заводская лаборатория. — 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54—60.
94. Орлов А.И., Гусейнов Г.А. Математические методы в изучении способных к математике школьников // Исследования по вероятностно-статистическому моделированию реальных систем. — М. : ЦЭМИ АН СССР, 1977. — С. 80—93.
95. Орлов А.И., Конюхова Т.А. Математические модели в экономике. Модель Вильсона управления запасами. — М. : МГИЭМ (ту), 1994. — 31 с.
96. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика. Монография (научное издание). — Краснодар : КубГАУ. 2014. — 600 с.
97. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга : монография / под науч. ред. проф. С.Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — 600 с.
98. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента : монография / под общ. ред. С.Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2016. — 600 с.
99. Орлов А.И., Пейсахович Э.Э. Некоторые модели планирования оптимальных размеров поставок и начального запаса // Экономика и математические методы. — 1975. — Т. XI. — №. 4. — С. 681—694.
100. Орлов А.И., Раушенбах Г.В. Метрика подобия : аксиоматическое введение, асимптотическая нормальность // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. Межвузовский сборник научных трудов. — Пермь : Изд-во Пермского государственного университета. 1986. — Вып. 5. — С. 148—157.
101. Орлов А.И., Федосеев В.Н. Менеджмент в техносфере : учебное пособие. — М. : Академия, 2003. — 384 с.
102. Орлов А.И., Цисарский А.Д. Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Национальные интересы : приоритеты и безопасность. — 2013. — № 43. — С. 37—46.
103. Паркинсон С.Н. Законы Паркинсона. Сборник : пер. с англ., составитель и автор предисловия В.С. Муравьев. — М. : Прогресс, 1989. — 448 с.
104. Первозванский А.А., Первозванская А.Н. Финансовый рынок : расчет и риск. — М. : Инфра-М, 1994. — 192 с.
105. Пиндайк Р., Рубинфельд Д. Микроэкономика. — М. : Экономика : Дело, 1992. — 510 с.
106. Подиновский В.В. Анализ решений при множественных оценках коэффициентов важности критериев и вероятностей значений неопределенных факторов в целевой функции // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 5. — С. 141—159.
107. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. — М. : Физматлит, 2007. — 64 с.
108. Подиновский В.В. Количественная важность критериев с непрерывной шкалой первой порядковой метрики // Автоматика и телемеханика. — 2005. — № 9. — С. 129—137.
109. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. — М. : Наука, 1982. — 256 с.
110. Пфанцгаль И. Теория измерений. — М. : Мир, 1976. — 165 с.
111. Раушенбах Г.В. Меры близости и сходства. // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. — М. : Наука, 1987. — С. 169—203.
112. Ромашкина Г.Ф., Татарова Г.Г. Коэффициент конкордации в анализе социологических данных // Социология : методология, методы, математические модели. — 2005. — № 20. — С. 131—158.
113. Селезнев В.Д., Денисов К.С. Исследование свойств критериев согласия функции распределения данных с гауссовой методом Монте-Карло для малых выборок // Заводская лаборатория. — 2005. — Т. 71. — № 1. — С. 68—73.
114. Сидельников Ю.В. Системный анализ технологии экспертного прогнозирования. — М. : МАИ-ПРИНТ, 2007. — 348 с.
115. Сидельников Ю.В. Стратегические горизонты для России (внешнеполитические и военные аспекты — 2078 год). Предварительная программа прогнозных исследований. — М. : Институт экономических стратегий, 2005. — 72 с.
116. Сидельников Ю.В. Теория и организация экспертного прогнозирования. — М. : ИМЭМО АН СССР, 1990. — 196 с.
117. Сидельников Ю.В. Технология экспертного прогнозирования : Учебное пособие. 2-е изд., испр. — М. : Доброе слово, 2004. — 284 с.
118. Смольников Р.В. Практическое применение моделей управления запасами // Контроллинг. — 2007. — № 2. — С. 52—60.
119. Социально-психологические проблемы науки / под ред. М.Г. Ярошевского. — М. : Наука, 1973. — 252 с.
120. Статические и динамические экспертные системы : учеб. пособие / Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. — М. : Финансы и статистика, 1996. — 320 с.
121. Суппес П., Зинес Дж. Основы теории измерений // Психологические измерения. — М. : Мир, 1967. — С. 9—110.
122. Тейл Г. Эконометрические прогнозы и принятие решений. — М. : Статистика, 1971. — 488 с.
123. Толстова Ю.Н. Измерение в социологии. — М. : Инфра-М, 1998. — 352 с.
124. Тюрин Ю.Н., Литвак Б.Г., Орлов А.И., Сатаров Г.А., Шмерлинг Д.С. Анализ нечисловой информации. — М. : Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981. — 80 с.

125. *Фалько С.Г.* Контроллинг для руководителей и специалистов. — М. : Финансы и статистика, 2008. — 272 с.
126. *Федосеев В.Н., Орлов А.И., Ларионов В.Г., Козьяков А.Ф.* Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие. — М. : Изд-во УРАО, 2002. — 220 с.
127. *Фишберн П.* Теория полезности для принятия решений. — М. : Наука, 1978. — 352 с.
128. *Форд Г.* Моя жизнь. Мои достижения. Сегодня и завтра. — Минск : Харвест, 2005. — 448 с.
129. *Френкель А.А.* Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда. — М. : Экономика, 1972. — 190 с.
130. *Хан Д.* Планирование и контроль : концепция контроллинга / пер. с нем. — М. : Финансы и статистика, 1997. — 800 с.
131. *Холлендер М., Вулф Д.* Непараметрические методы статистики. М. : Финансы и статистика, 1983. — 518 с.
132. *Чернов В.А.* Анализ коммерческого риска. — М. : Финансы и статистика, 1998. — 128 с.
133. *Четыркин Е.М.* Методы финансовых и коммерческих расчетов. 2-е изд., испр. и доп. — М. : Дело Лтд, 1995. — 320 с.
134. *Четыркин Е.М.* Статистические методы прогнозирования. — М. : Статистика, 1977. — 200 с.
135. *Шахнов И.Ф.* Некоторые модели квалиметрического анализа многофакторных объектов с бинарными факторами // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2005. — Т. 71. — № 5. — С. 59—65.
136. *Шмален Г.* Основы и проблемы экономики предприятия. — М. : Финансы и статистика, 1996. — 512 с.
137. *Шрейдер Ю.А.* Равенство, сходство, порядок. — М. : Наука, 1971. — 256 с.
138. Экспертные оценки : современное состояние и перспективы использования в задачах экологического страхования / В.Г. Горский, А.И. Орлов, В.Н. Жихарев, В.А. Цупин, А.Н. Степочкин, В.А. Васюкевич. — В сб. : Труды Второй Всероссийской конференции «Теория и практика экологического страхования». — М. : Ин-т проблем рынка РАН, 1996. С. 20—23.
139. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса. — М. : Прогресс, 1990. — 568 с.
140. *Fisher R.A.* The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems // Ann. Eugenics. — 1936. — September. Vol.7. — P. 179—188. (Перевод : Фишер Рональд Э. Использование множественных измерений в задачах таксономии. — В сб. : Современные проблемы кибернетики. — М. : Знание, 1979. — С. 6—20.)

Александр Иванович Орлов (р. 14.05.1949) — профессор (1995 г. — по кафедре математической экономики, доктор экономических наук (2010 г. — по математическим и инструментальным методам экономики), доктор технических наук (1993 г. — по применению математических методов), кандидат физико-математических наук (1976 г. — по теории вероятностей и математической статистике). Основные направления исследований — прикладная статистика, эконометрика, принятие решений, экспертные оценки, организационно-экономическое моделирование. Разработал новую область прикладной статистики — статистику объектов нечисловой природы.

Один из самых цитируемых ученых России. По данным Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), самый цитируемый математик среди живущих. Самый цитируемый исследователь МГТУ им. Н.Э. Баумана. Входит в ТОП-10 РИНЦ по цитируемости по направлению «Экономика. Экономические науки». Только двух из 50 членов секции экономики РАН цитируют чаще, чем А.И. Орлова.

С 1997 г. — профессор кафедры «Экономика и организация производства» (ИБМ-2) научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, руководитель секции «Организационно-экономическое моделирование, эконометрика и статистика», директор Института высоких статистических технологий и эконометрики, заведующий Лабораторией экономико-математических методов в контроллинге Научно-учебного центра «Контроллинг и управленческие инновации». Член Ученого совета Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Член трех диссертационных советов. Под руководством А.И. Орлова защищено 11 кандидатских диссертаций.

Профессор кафедры системных исследований Московского физико-технического института. Заведующий кафедрой теории классификации Международного университета междисциплинарных знаний. Преподаватель бизнес-школ (МВА).

Член редакционных коллегий 8 научных журналов, в том числе «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», «Контроллинг», зам. главного редактора журнала «Инновации в менеджменте». Академик Российской академии статистических методов, Международной

академии исследований будущего. Член Московского общества испытателей природы (с 1985 г.).

Автор более 1050 публикаций в России и за рубежом, в том числе 50 книг.

В 1966 году окончил физико-математическую школу № 2 г. Москвы (поток Е.Б. Дынкина) с золотой медалью, в 1971 г. — механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова (диплом с отличием). В 1971—1978 годах работал в Центральном экономико-математическом институте АН СССР, в 1978—1981 гг. — в «кремлевской больнице» (в Центральной научно-исследовательской лаборатории 4 Главного управления при Минздраве СССР), в 1981—1989 гг. — во ВНИИ стандартизации Госстандарта СССР.

Создал (1979) и руководил комиссией «Статистика объектов нечисловой природы» Научного Совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика».

Создал и руководил Всесоюзным центром статистических методов и информатики Центрального правления Всесоюзного экономического общества (1989—1992). В те годы единственное место работы А.И. Орлова — директор указанной организации. К настоящему времени она преобразована в Институт высоких статистических технологий и эконометрики МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Один из основных организаторов Всесоюзной статистической ассоциации, на ее Учредительном съезде (октябрь 1990 г.) избран вице-президентом, руководителем секции статистических методов. С 1993 г. — на преподавательской работе, профессор ряда московских вузов. Одновременно с преподаванием — советник президента Группы авиакомпаний «Волга-Днепр», главный научный консультант разработки Автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий АСПАП (2010—2012), главный специалист ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (Космический научный центр, г. Королев) (2013—2015).

Сверхзадача профессорской деятельности А.И. Орлова — внедрение современных научных подходов и результатов в преподавание. Разработал новаторские курсы эконометрики, прикладной статистики, теории принятия решений, по организационно-экономическому моделированию, контроллингу рисков.

Более подробная информация об А.И. Орлове, в том числе книги и статьи, содержится на интернет-ресурсах:

1. «Высокие статистические технологии» <http://orlovs.pp.ru/>;
2. «Лаборатория экономико-математических методов в контроллинге Научно-учебного центра «Контроллинг и управленческие инновации» МГТУ им. Н.Э. Баумана» <http://ibm.bmstu.ru/nil/biblio.html>;

3. еженедельник «Эконометрика» (выпускается с 2000 г.) <http://subscribe.ru/catalog/science.humanity.econometrika>;

4. форум <http://forum.orlovs.pp.ru/> (проф. Орлов А.И. Основные сведения <http://forum.orlovs.pp.ru/viewtopic.php?f=1&t=1370>),

5. Персональная страница А.И. Орлова на сайте МГТУ им. Н.Э. Баумана <http://www.bmstu.ru/ps/~orlov/>;

6. Википедия: <http://ru.wikipedia.org/> статья «Орлов, Александр Иванович (ученый)».

Основные книги проф. А.И. Орлова

1. Орлов А.И. Устойчивость в социально-экономических моделях. — М. : Наука, 1979. — 296 с.

2. Орлов А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. — М. : Знание, 1980. — 64 с.

3. Анализ нечисловой информации / Ю.Н. Тюрин, Б.Г. Литвак, А.И. Орлов, Г.А. Сатаров, Д.С. Шмерлинг. — М. : Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981. — 80 с.

4. Гусев В.А., Орлов А.И., Розенталь А.Л. Внеклассная работа по математике в 6—8 классах. — М. : Просвещение, 1984. — 288 с. — 2-е изд., испр. и доп. Переводы на казахский, литовский, молдавский, таджикский языки.

5. ГОСТ 11.011-83. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров гамма-распределения / А.И. Орлов и др. — М. : Изд-во стандартов, 1984. — 53 с — Переиздание. М. : Изд-во стандартов, 1985. — 50 с.

6. Математическое моделирование процессов налогообложения (подходы к проблеме) (совместно с В.Г. Кольцовым, Н.Ю. Ивановой и др.). — М. : Изд-во ЦЭО Министерства общего и профессионального образования РФ, 1997. — 232 с.

7. Менеджмент : учебное пособие (совместно с С.А. Боголюбовым, Ж.В. Прокофьевой и др.). — М. : Знание, 2000. — 288 с.

8. Орлов А.И. Эконометрика : учебник для вузов. — М. : Экзамен, 2002, 2003 (2-е изд., исправленное и дополненное), 2004 (3-е изд., исправленное и дополненное). — 576 с.

9. Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие / В.Н. Федосеев, А.И. Орлов, В.Г. Ларионов, А.Ф. Козьяков). — М. : УРАО, 2002 (1-е изд.), 2003 (2-е изд.). — 220 с.

10. Орлов А.И., Федосеев В.Н. Менеджмент в техносфере : учебное пособие. — М. : Академия, 2003. — 384 с.

11. Орлов А.И. Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений. — М. : ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д : Издательский центр «МарТ», 2005. — 496 с.

12. Орлов А.И. Прикладная статистика : учебник для вузов. — М. : Экзамен, 2006. — 671 с.

13. Орлов А.И. Теория принятия решений : учебник для вузов. — М. : Экзамен, 2006. — 576 с.

14. Проектирование интегрированных производственно- корпоративных структур : эффективность, организация, управление : научное издание / С.Н. Анисимов, А.А. Колобов, И.Н. Омельченко, А.И. Орлов, А.М. Иванилова, С.В. Краснов; под ред. А.А. Колобова, А.И. Орлова. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с.
15. Орлов А.И. Оптимальные методы в экономике и управлении : учебное пособие. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. — 44 с.
16. Колобов А.А., Омельченко И.Н., Орлов А.И. Менеджмент высоких технологий. Интегрированные производственно-корпоративные структуры : организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость. — М. : Экзамен, 2008. — 621 с.
17. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование : учебник. Ч. 1. Нечисловая статистика. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 543 с.
18. Орлов А.И. Эконометрика. : учебник для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 572 с.
19. Орлов А.И. Менеджмент : организационно-экономическое моделирование : учебное пособие для вузов. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 475 с.
20. Орлов А.И. Вероятность и прикладная статистика : основные факты : справочник. — М. : КНОРУС, 2010. — 192 с.
21. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений : учебник. — М. : КНОРУС, 2011. — 568 с.
22. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 ч. Ч. 2. Экспертные оценки. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, — 486 с.
23. Орлов А.И. Устойчивые экономико-математические методы и модели. Разработка и развитие устойчивых экономико-математических методов и моделей для модернизации управления предприятиями. — Saarbrücken (Germany), LAP (Lambert Academic Publishing), 2011. — 436 с.
24. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 ч. Ч. 3. Статистические методы анализа данных. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 624 с.
25. Орлов А.И. Проблемы управления экологической безопасностью. Итоги двадцати лет научных исследований и преподавания. — Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2012. — 344 с.
26. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика. Монография (научное издание). — Краснодар, КубГАУ. 2014. — 600 с.
27. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга : монография / под науч. ред. проф. С.Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ. 2015. — 600 с.
28. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента : монография / под общ. ред. С.Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2016. — 600 с.
29. Лойко В.И., Луценко Е.В., Орлов А.И. Современные подходы в наукометрии : монография / под науч. ред. проф. С.Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2017. — 532 с.