А. И. Орлов

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

Учебник

Москва
Ай Пи Ар Медиа
2022

УДК 519.8

ББК 65.051

О-66

Автор:

Орлов А. И. — д-р экон. наук, д-р техн. наук, канд. физ.-мат. наук, проф. кафедры экономики и организации производства (ИБМ-2) Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

Орлов, Александр Иванович.

О-66 Искусственный интеллект: экспертные оценки : учебник / А. И. Орлов. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 436 с. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-4497-1469-5

Учебник посвящен основным вопросам теории и практики экспертных оценок, в том числе связанным с типовыми стадиями экспертного опроса, методами подбора экспертов, разработкой регламентов проведения сбора и анализа экспертных мнений. Рассмотрены основные идеи современной теории измерений, метода согласования кластеризованных ранжировок, теории нечеткости и ряда других математических и статистических методов анализа экспертных оценок. Обсуждаются применения экспертных оценок в экономике и менеджменте, экологии, при оценке рисков и построении рейтингов, при прогнозировании и управлении качеством.

Подготовлен с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Учебник предназначен для студентов, преподавателей и специалистов, заинтересованных в применении современных методов экспертных оценок в технике, экономике, управлении, медицине, социологии и иных областях, а также для разработчиков таких методов и соответствующего программного обеспечения. Он представляет интерес также для исследователей в области искусственного интеллекта, прикладной и математической статистики, сбора и анализа экспертных данных, методов оптимизации, математического и организационно-экономического моделирования.

Учебное электронное издание

ISBN 978-5-4497-1469-5

© Орлов А. И., 2022

© ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа», 2022

Технический редактор, компьютерная верстка *А.В. Неверова*
Обложка *С.С. Сизиумовой*

Подписано к использованию 23.11.2022. Объем данных 9 Мб.

Издание представлено в электронно-библиотечных системах
IPR BOOKS (www.iprbookshop.ru),
Библиокомплектатор (www.bibliocomplectator.ru)

Бесплатный звонок по России: **8-800-555-22-35**
Тел.: 8 (8452) 24-77-97, 8 (8452) 24-77-96

Отдел продаж и внедрения ЭБС:
доб. 206, 213, 144, 145
E-mail: sales@iprmedia.ru

Отдел комплектования ЭБС:
доб. 224, 227, 208
E-mail: mail@iprbookshop.ru

По вопросам приобретения издания обращаться:
доб. 208, 201, 222, 224
E-mail: izdat@iprmedia.ru, author@iprmedia.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.»[1] принято следующее определение: «...искусственный интеллект — комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений». В этом определении прямо не говорится про научную основу «комплекса технологических решений». По нашему мнению, в социально-экономической области в качестве такой основы можно использовать организационно-экономическое моделирование, включая высокие статистические технологии, в том числе нечисловую статистику, теорию и практику экспертных оценок, статистические методы анализа данных.

Автор занимается проблемами искусственного интеллекта около полвека (первые статьи напечатаны в 1972 г.). Настоящая книга посвящена важной составляющей искусственного интеллекта — теории и практике экспертных оценок.

Как изменится экономическая обстановка через десять лет? Будут ли экологически безопасны города и промышленные предприятия или же вокруг окажется рукотворная пустыня? Достаточно вдуматься в эти постановки вопросов, проанализировать, как десять лет назад мы представляли себе сегодняшний день, чтобы понять, что стопроцентно надежных прогнозов просто не может быть. Вместо утверждений с конкретными числами можно ожидать лишь качественных оценок. Тем не менее, мы должны принимать решения, например, об экологических и иных проектах и инвестициях, последствия которых скажутся через десять, двадцать и более лет.

Бесспорно, что для принятия обоснованных решений необходимо опираться на опыт, знания и интуицию специалистов. После Второй мировой войны в рамках кибернетики, теории управления, менеджмента и исследования операций стала быстро развиваться самостоятельная дисциплина — теория и практика экспертных оценок.

---

[1] См.: Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/.

Методы экспертных оценок — это методы организации работы со специалистами-экспертами и обработки мнений экспертов. Эти мнения обычно выражены частично в количественной, частично в качественной форме. Экспертные исследования проводят с целью подготовки информации для принятия решений. Для проведения работы по методу экспертных оценок создают Рабочую группу, которая и организует деятельность экспертов, объединенных (формально или по существу) в экспертную комиссию. Более того, лицо, принимающее решение — это тоже эксперт, так что можно констатировать, что любое решение — это решение эксперта!

Содержание учебника. Настоящий учебник посвящен методам и технологиям сбора и анализа мнений экспертов, применению экспертных оценок. Он состоит из трех частей, разбитых на 12 глав.

Первая часть посвящена введению в теорию и практику экспертных оценок. Рассмотрены примеры процедур экспертных оценок. Обсуждаются основные стадии экспертного опроса и применение теории измерений для выбора способа усреднения мнений экспертов. Разобраны методы средних арифметических и медиан рангов, согласования кластеризованных ранжировок. Проанализировано голосования как один из методов принятия решений.

Математические методы анализа экспертных оценок — предмет второй части. Рассмотрены подходы к аксиоматическому введению расстояний между ответами экспертов, свойства расстояния Кемени и медианы Кемени, использование коэффициентов корреляции и конкордации. Для анализа бинарных данных и результатов парных сравнений рекомендовано использовать теорию случайных толерантностей и люсианов. Обсуждаются основы методологии нечеткости, сведение теории нечеткости к теории вероятностей и ее использование в экспертных технологиях.

В третьей части учебника рассматриваются применения экспертных оценок. Глава 9 посвящена задачам экологического страхования и обеспечения экологической безопасности, прежде всего технологиям экологических экспертиз. Затем обсуждаются экспертные технологии оценки рисков и управления ими, в том числе при выполнении инновационных проектов. В главе 11 построена теория рейтингов, прежде всего бинарных и линейных. В заключительной главе 12 экспертные оценки рассматриваются как интеллектуальные инструменты конкретных организационно-экономических исследований. Обсуждается их применение в маркетинговых исследованиях, в системе «Шесть сигм», при использовании иерархической системы показателей технического уровня и качества продукции и упорядочении совокупности государственных стандартов по статистическим методам управления качеством, в оценочной деятельности и инвестиционном менеджменте, при прогнозировании, в том числе методом сценариев.

Приложение посвящено рассказу о развитии теории экспертных оценок в нашей стране и обзору основных литературных источников по этой тематике. Дается также краткая информация о деятельности автора как научного работника и преподавателя.

Автор настоящего учебника более 50 лет постоянно занимается экспертной деятельностью. Как практик и как теоретик. В учебник включены теоретические и практические результаты, как достаточно давние (1970-х гг.), так и полученные в последние годы. Их происхождение и авторство заинтересованные читатели проследят по литературным ссылкам, которые пригодятся и для углубленного изучения материала.

Теория экспертных оценок как часть искусственного интеллекта тесно связана с прикладной статистикой, эконометрикой, теорией принятия решений. Запросы теории экспертных оценок стимулировали развитие наиболее современной области прикладной статистики – статистики нечисловых данных. Однако в настоящем учебнике не рассматриваются математические результаты статистики нечисловых данных, равно как и многие вопросы теории принятия решений, поскольку они включены в наши учебники «Прикладная статистика», «Эконометрика» и «Теория принятия решений».

Учебник включен в серию книг «Искусственный интеллект», поскольку в нем рассматриваются современные методы анализа статистических данных, полученных от экспертов. Субъективные экспертные данные нет оснований противопоставлять объективным результатам измерений (наблюдений, испытаний, анализов, опытов), поскольку для их описания и анализа используются одни и те же вероятностно-статистические методы и модели. Книга написана в традициях отечественной вероятностно-статистической школы. Автор искренне благодарен своим учителям — академику АН УССР Б.Г. Гнеденко, члену-корреспонденту АН СССР Л.Н. Большеву, проф. В.В. Налимову.

Для кого эта книга? Для написания этой книги у автора было два стимула. Во-первых, сделать доступным широкой массе читателей более чем полувековой опыт работы междисциплинарного исследовательского коллектива, действующего вокруг научного семинара «Экспертные оценки и анализ данных». Семинар был организован в 1973 г. и работал сначала в МГУ им. М.В. Ломоносова, а затем в Институте проблем управления РАН. Именно в рамках этого междисциплинарного коллектива создана отечественная научная школа в области экспертных оценок. Во-вторых, подготовить учебник для обеспечения различных видов образовательных услуг.

Учебник может быть рекомендован различным категориям читателей.

Студенты дневных отделений управленческих и экономических специальностей, прежде всего специальностей «Инноватика», «Экономика», «Менеджмент», найдут в нем весь необходимый материал для изучения соответствующих разделов учебных курсов «Организационно-экономическое моделирование», «Эконометрика», «Прикладная статистика», «Управленческие решения», «Теория принятия решений», «Экономико-математическое моделирование», «Математические методы в экономике», «Маркетинговые исследования», «Математические методы оценки» и др.

Слушатели вечерних отделений, в том числе получающие второе образование по экономике и менеджменту, смогут изучить основы теории экспертных оценок и познакомиться с вопросами ее практического использования. Менеджерам, экономистам и инженерам, изучающим экспертные оценки и теорию принятия решений самостоятельно или в Институтах повышения квалификации, по программам переподготовки или получения академической степени «Мастер (магистр) делового администрирования» (Master of Business Administration — MBA) учебник позволит познакомиться с ключевыми идеями и выйти на современный уровень.

Книга представляет собой замкнутый текст, не требующий для своего понимания ничего, кроме знания стандартных учебных курсов по высшей математике. Зачем же нужны литературные ссылки? Дотошный читатель, в частности, при подготовке рефератов и при желании глубже проникнуть в материал учебника, может обратиться к приведенным в каждой главе спискам цитированной литературы. Далее, каждая из глав пособия — это только введение в большую область теории и практики экспертных оценок, и вполне естественным является желание выйти за пределы введения. Приведенные литературные ссылки могут этому помочь.

Включенные в книгу материалы прошли многолетнюю и всестороннюю проверку. Кроме МГТУ им. Н.Э. Баумана, они использовались при преподавании во многих других отечественных и зарубежных образовательных структурах.

Автор благодарен своим многочисленным коллегам, слушателям и студентам, прежде всего различных образовательных структур Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Московского физико-технического института, Российской экономической академии им. Г.В. Пле-

ханова и Академии народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации (программа «Топ-Менеджер»), за полезные обсуждения.

С текущей научной информацией по экспертным оценкам можно познакомиться на сайте «Высокие статистические технологии» http://orlovs.pp.ru и его форуме. Большой объем информации по рассматриваемым в учебнике вопросам содержит электронный еженедельник «Эконометрика» (он является электронной газетой кафедры «Экономика и организация производства» научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н.Э. Баумана). Размещен по адресу: http://subscribe.ru/catalog/science.humanity.econometrika). Вышло более 1 000 номеров. Еженедельник выпускается с июля 2000 г. (автор искренне благодарен редактору этого электронного издания А.А. Орлову за многолетний энтузиазм).

Автор искренне благодарен сотрудникам издательства Ай Пи Ар Медиа Юлии Валентиновне Семеновой, Юлии Вадимовне Ермоловой, Анастасии Валентиновне Неверовой за большую работу по подготовке рукописи учебника к публикации.

В учебнике изложено представление о теории и практике экспертных оценок, соответствующее общепринятому в мире. Сделана попытка довести рассказ до современного уровня научных исследований в этой области. Автор будет благодарен читателям, если они сообщат свои вопросы и замечания по адресу издательства или непосредственно автору по электронной почте *E-mail*: prof-orlov@mail.ru.

ЧАСТЬ 1. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

ГЛАВА 1. ПРИМЕРЫ ПРОЦЕДУР ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

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, кроме того, умеющего использовать свою интуицию для решения поставленных перед ним задач. Например, для диагностики, прогнозирования, выбора варианта технического или управленческого решения.

Ударение в слове «эксперт», как и в словах «маркетинг» и «творог», можно ставить как на первый слог, так и на второй. Оба варианта признаются нормой. Ударение на первый слог соответствует английскому языку, ударение на второй слог больше подходит для русского языка.

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

1.1. 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 единолично, 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 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 быть различны. Так, отзыв официального оппонента заканчивается выводом о том, соответствует или нет рассмотренная им диссертация требованиям ВАК РФ. Рецензент научного журнала делает в конце своего заключения вывод о том, 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

Научная значимость:

1. Исключительно высокая.
2. Значительная.
3. Невысокая.
4. Неопределимая (в настоящее время).
5. Отсутствует.

Практическая значимость:

1. Исключительно высокая.
2. Значительная.
3. Невысокая.
4. Неопределимая (в настоящее время).
5. Отсутствует.

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.

Методы и способы достижения цели:

1. Новые.
2. Современные.
3. Традиционные.
4. Устаревшие.
5. Неадекватные.

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.

Срок работы:

1. Реальный.
2. Завышен.
3. Занижен.
4. Данных для оценки недостаточно.

Стоимость работ (объем финансирования):

1. Приемлемая.
2. Завышена.
3. Занижена.
4. Данных для оценки недостаточно.

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 __________
(Ф.И.О.)

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.

Обратим внимание, что в конце «Карты оценки объекта экспертизы» предусмотрена подпись эксперта. Это связано с тем, что 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 полузакрытые, они же полуоткрытые. 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. Полузакрытые, они же полуоткрытые 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 состоит 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 и состоит, 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 «обрубать» 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.

Отметим, что 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 работы которых — проверить доступность задач опроса и документации пониманию экспертов, работоспособность расчетных процедур, уточнить формулировки вопросов и способы сбора и анализа экспертных мнений. В частности, в рамках пилотного исследования может быть проведена предварительная экспертиза, специально посвященная отработке перечня и формулировок вопросов.

1.2. 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 симпатичная девушка (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 эту девушку (технического работника), которая после обработки экспертных мнений выставляет оценку на стенд, делая результаты экспертизы доступными всем желающим. Она представляет коллектив тех, кто обеспечивает организацию и проведение экспертизы. Этот коллектив называют «рабочей группой» (РГ) [1, гл. 12] или «группой сопровождения» [2].

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

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

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

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

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

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

С точки зрения прикладной математической статистики X^* — это робастная оценка теоретического среднего, нацеленная на борьбу с аномальными (резко выделяющимися) результатами наблюдений. Поскольку ясно, что аномальные результаты порождены внешними влияниями на судей фигурного катания, искажающими их профессиональные экспертные оценки, то 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 быт 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 из них 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, ..., Y_m, затем РГ рассчитывает значение интегрального показателя качества:

$$Y = a_1Y_1 + a_2Y_2 + ... + a_mY_m .$$

На основе полученных значений Y можно выбрать наилучший образец, упорядочить образцы по качеству, указав рейтинг образцов, т.е. 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 необходимом 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. Ниже приведена цитата из повести А.С. Пушкина «Капитанская дочка» (глава X) — 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 и, 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 1 сентября 1812 г. в Филях, вскоре после Бородинского сражения. Обсуждался вопрос: «Дать французам сражение под Москвой или оставить Москву без боя?» Решение должен был принять главнокомандующий министр обороны фельдмаршал Кутузов. Обратим внимание, что 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 (т.е. 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 2 сентября 1812 г. 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 пропала впустую? Отнюдь! Собранная экспертами информация была 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.

1.3. Экспертное прогнозирование

Перейдем к развитию экспертных исследований в XX вв.

Кибернетика – основа управления. Большое влияние на развитие исследований в области управления в целом и менеджмента в частности оказало появления в 1948 г. книги американского математика Норберта Винера (1894–1964 гг.) «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» [3]. Через два года вышла его книга «Кибернетика и общество» [4]. 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 гг.). 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 гг.) в своей книге [5] приводит ряд фактов, позволяющих проследить историю кибернетических идей. В частности, 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 для того, 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 гг.) и особенно Александр Александрович Богданов (1873–1928 гг.), 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, 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 назвали 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. Надо сказать, что 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 методы экспертные 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. долл. США, но в ряде случаев приходилось расходовать и более крупные суммы — до 130 тыс. долл.

Метод сценариев. Несколько в стороне от основного русла экспертных оценок лежит *метод сценариев*, применяемый прежде всего 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 если на первом туре президентских выборов никто не получил большинства голосов, то о дальнейшем развитии событий можно говорить лишь в терминах сценариев — в зависимости от результатов второго тура.

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. При этом 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 заключается 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 он 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 дискуссии 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.

При этом 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, сбивающиеся торпеду с курса.

1.4. 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, в частности, 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. [6].

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 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе».

При классификации по решаемым задачам выделяют [6] 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 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.

Нельзя не согласиться с мнением проф. Б.Г. Литвака, что экспертизы необходимы на всех стадиях управленческого цикла, в какой бы области деятельности ни принималось решение [6]. 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, при этом 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 [7], будут рассмотрен ряд современных методов экспертных оценок.

Контрольные вопросы

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.

7. Что такое «мозговой штурм»?

8. В каких конкретных областях используют методы экспертных оценок?

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.

Литература

1. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

2. *Сидельников, Ю.В.* Технология экспертного прогнозирования : учебное пособие / Ю.В. Сидельников. — 2-е изд., испр. — Москва : Доброе слово, 2004. — 284 с.

3. *Винер, Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. — 2-е изд. — Москва : Советское радио, 1968. — 326 с.

4. *Винер, Н.* Кибернетика и общество / Н. Винер. — Москва : Изд-во иностранной литературы, 1958. — 200 с.

5. *Моисеев, Н.Н.* Люди и кибернетика / Н.Н. Моисеев. — Москва : Молодая гвардия, 1984. — 224 с.

6. *Литвак, Б.Г.* Экспертиза в России / Б.Г. Литвак // Заводская лаборатория. — 2000. — Т. 66. — № 7. — С. 61–66.

7. *Орлов, А.И.* Экспертные оценки / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54–60.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

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

2.1. Основные стадии экспертного опроса

Более подробно рассмотрим 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 Лицом, Принимающим Решения (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,* сокращенно РГ (обычно — научного руководителя и ответственного секретаря). При этом научный руководитель отвечает за организацию и проведение экспертного исследования в целом, а также за анализ собранных материалов и подготовку заключения экспертной комиссии. Он 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 позже, 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 Рабочей Группы со своей внутренней структурой. Обычно в РГ выделяются различные группы специалистов — аналитическая, эконометрическая (специалисты по методам анализа данных), компьютерная, по работе с экспертами (например, интервьюеров), организационная. (Конечно, 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 ТЗ и утверждены ЛПР.

4. *Разработка аналитической группой РГ подробного сценария* (*т.е. 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, прежде всего, 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 некоторые количество заранее сформулированных вопросов. Кроме того, их просят заполнить формальную карту, в каждом пункте выбрав одну из нескольких градаций (см. примеры в разд. 1.1).

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 [1]). 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 %. Причины в том, что 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 экспертной комиссии (сокращенно ЭК). Возможно, часть намеченных РГ (на стадии 5) экспертов не сможет войти в экспертную комиссию (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, т.е. 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 ТЗ. В Федеральном законе «Об экологической экспертизе» [2] требованиям к заключению ЭК посвящена обширная глава 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 (роспуск) ЭК и РГ.

Научный отчет РГ должен позволять восстанавливать все подробности деятельности ЭК на основе документов. В частности, 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 в случае, если заинтересованные организации и лица сочтут нужным оспорить выводы ЭК в судебном порядке.

2.2. 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 является одной 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 тогда, 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 свежевыпавшего снега. При каждом повороте на снежок налипает новый слой, и 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 %, т.е. 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 здесь, что «кланы» обычно образуются на основе крупных формальных центров (вузов, научных институтов), научных школ [3].

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, т.е. таких экспертов, которые участвуют в длинных сериях однотипных экспертиз. Однако, увы, наиболее интересны и важны уникальные экспертизы больших проектов, не имеющих аналогов. Использование формальных показателей экспертов (должность, ученые степень и звание, стаж, число публикаций...), очевидно, 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 экспертной комиссии.

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 уклонения 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 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 становиться 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.

Необходимо подчеркнуть, что подбор экспертов — одна из основных функций Рабочей группы, и никакие методики подбора не снимают с нее ответственности. Другими словами, именно 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 ноября 1995 г., в котором регламентируется процедура экспертизы «намечаемой хозяйственной или иной деятельности» с целью выявления возможного вреда, который может нанести рассматриваемая деятельность окружающей природной среде. 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 самовыдвинувшихся 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 надо подчеркнуть, что распределение самовыдвинувшихся 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 [1, 4].

2.3. 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 экспертной комиссии, и он служит первым основанием для разбиения методов.

Цель — сбор информации для ЛПР. Тогда Рабочая группа должна собрать возможно 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.

Отметим, что эксперты в рассматриваемом методе только поставляют информацию, аргументы «за» и «против», но не вырабатывают согласованного проекта решения. Нет никакой необходимости стремиться к тому, чтобы экспертные мнения были согласованы между собой. Более того, наибольшую пользу приносят эксперты с мышлением, отклоняющимся от массового (среднестатистического), т.е. 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. Следовало 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 целой 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 обратимся к конкретным методам расчетов с помощью коэффициентов конкордации (т.е. — в переводе — согласия) на основе коэффициентов ранговой корреляции Кендалла или Спирмена. Необходимо напомнить, что 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, являются независимыми случайными бинарными отношениями, равномерно распределенными на множестве всех ранжировок. Отклонение этой нулевой гипотезы по дурной традиции толкуется как согласованность ответов экспертов. Другими словами, 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 так называемых *люсианах* [1, 4] 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 [5]).

Отметим, что группы экспертов с близкими мнениями можно выделить методами кластер-анализа [4].

Мнения диссидентов. С целью искусственно добиться согласованности стараются уменьшить влияние мнений *экспертов-диссидентов*, т.е. инакомыслящих по сравнению с большинством. *Жесткий* способ борьбы с диссидентами состоит в игнорировании их мнений, т.е. 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 [4]).

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. Другим примером является 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 необоснованное 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 так называемой «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 ***подобрать*** коэффициенты при отдельных показателях так, чтобы *упорядочение с помощью линейной функции возможно 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...

2.4. 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, поскольку 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. Так, 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.

Оно соответствует также многим реальным процедурам принятия управленческих решений. Координация действий организаций и менеджеров с помощью заочного общения без анонимности 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. Он 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 так называемое «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, т.е. 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, накладывая на документ *визу*, т.е. 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 голосованиях 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 г.) 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. Отметим, что 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.

2.5. 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 [6]. 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 [7].

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 [8]. 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 повышает эффективность экспертной работы.

3. Автоматизированное рабочее место эксперта (например, АРМ МАТЭК (математика в экспертизе) [9, 10]) 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 сопровождения, 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) [9, 10]).

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 1970-х гг.) Автоматизированное рабочее место «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» предназначен 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 отчётной документации.

Работа на АРМ в соответствии с методологией работы [11] 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 рабочей группы (РГ).

Далее к работе приступает РГ. Её 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 (т.е. 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, т. е. 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

1. Расскажите об основных стадиях экспертного опроса.
2. Почему сценарий проведения сбора и анализа экспертных мнений необходимо разрабатывать до подбора экспертов?
3. Что такое «метод снежного кома»?
4. Как выбор цели экспертизы влияет на экспертные технологии?
5. Какова роль диссидентов в комиссии экспертов в зависимости от регламента сбора и анализа экспертных мнений?
6. По каким основаниям классифицируют экспертные методы?
7. Чем отличаются экспертные оценки и экспертные системы?
8. Какова роль компьютеров в экспертных технологиях?

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Роль ЛПР в организации экспертного исследования.
2. Внутренняя структура Рабочей группы экспертного исследования.

3. Типовые сценарии проведения сбора и анализа экспертных мнений.

4. Требования к экспертам, зафиксированные в действующем законодательстве.

5. Уголовная, административная, материальная и гражданско-правовая ответственность экспертов.

6. Сравнительный анализ методов самооценки и взаимооценки.

7. Догма согласованности.

8. Догма одномерности.

9. Подходы к выбору способа организации общения экспертов.

10. Роль интуиции в экспертизе.

11. Проектирование автоматизированных рабочих мест экспертов и членов РГ (группы сопровождения).

Литература

1. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

2. Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе : принят Государственной Думой 19 июля 1995 г. : одобрен Советом Федерации 15 ноября 1995 г. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8515/.

3. Социально-психологические проблемы науки / под ред. М.Г. Ярошевского. — Москва : Наука, 1973. — 252 с.

4. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

5. *Селезнев, В.Д.* Исследование свойств критериев согласия функции распределения данных с гауссовой методом Монте-Карло для малых выборок / В.Д. Селезнев, К.С. Денисов // Заводская лаборатория. — 2005. — Т. 71. — № 1. — С. 68–73.

6. *Гельфанд, И.М.* Очерки о совместной работе математиков и врачей / И.М. Гельфанд, Б.И. Розенфельд, М.А. Шифрин. — 2-е изд., доп. — Москва : УРСС, 2004. — 320 с.

7. *Адамар, Ж.* Исследование психологии процесса изобретения в области математики / Ж. Адамар. — Москва : УРСС, 2001. — 128 с.

8. Статические и динамические экспертные системы : учебное пособие / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель, М.Д. Шапот. — Москва : Финансы и статистика, 1996. — 320 с.

9. 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 конференция (22–26 сентября 1997 г., Москва, Россия). — Москва : СИНТЕГ, 1997. — С. 240–240.

10. Экспертные оценки: современное состояние и перспективы использования в задачах экологического страхования / В.Г. Горский, А.И. Орлов, В.Н. Жихарев [и др.] // Труды Второй Всероссийской конференции «Теория и практика экологического страхования». — Москва : Ин-т проблем рынка РАН, 1996. — С. 20–23.

11. *Орлов, А.И.* Экспертные оценки / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54–60.

ГЛАВА 3. ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

Теория измерений (в дальнейшем сокращенно 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 [1–4]). Теория измерений является одной из составных частей наук, посвященных анализу данных — статистики и эконометрики. Принято считать, что ТИ входит в состав *статистики объектов нечисловой природы* [1].

В настоящей главе рассмотрены основные идеи теории измерений. Описаны 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).

3.1. Основные шкалы измерения

Почему необходима теория измерений? 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», т.е. 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 примеры показывают, что практика использования чисел для описания результатов наблюдений (измерений, испытаний, анализов, опытов) заслуживает методологического анализа.

При применении тех или иных экспертных технологий, прежде всего, 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).

Так, например, мнения экспертов часто выражены в *порядковой шкале* (подробнее о шкалах говорится ниже), т.е. эксперт может сказать (и обосновать), что один показатель качества продукции более важен, чем другой, первый технологический объект более опасен, чем второй, и т.д. Но он не в состоянии сказать, *во сколько раз* или *на сколько* он более важен, соответственно, более опасен. Экспертов часто просят дать ранжировку (упорядочение) объектов экспертизы, т.е. 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, стоящем 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 теории измерений. 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. Посмотрим, как это происходило.

Один из томов выпущенной в США в 1950-х гг. «Энциклопедии психологических наук» назывался «Психологические измерения». Значит, составители этого тома расширили сферу применения РТИ с психофизики на психологию в целом. А в основной статье в этом сборнике под названием, обратите внимание, «Основы теории измерений», изложение шло на абстрактно-математическом уровне, без привязки к какой-либо конкретной области применения. В этой статье [5] упор был 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 РТИ (конец 1960-х гг.) было 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 РТИ. Ее применяли к педагогической квалиметрии (измерению 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 были подведены в монографии [6]. В качестве двух основных проблем РТИ наряду с *установлением типа шкалы* измерения конкретных данных был выдвинут поиск алгоритмов анализа данных, результат работы которых не меняется при любом допустимом преобразовании шкалы (т.е. является *инвариантным* относительно этого преобразования).

Метрологи вначале резко возражали против использования термина «измерение» для качественных признаков. Однако постепенно возражения сошли на нет, и в настоящее время ТИ рассматривается как общенаучная теория.

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

Рассмотрим основные идеи теории измерений.

Шесть основных типов шкал. В соответствии с ТИ при математическом моделировании реального явления или процесса следует, прежде всего, 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 саженях первый длиннее второго ровно в 5 раз. Обратите внимание, что при этом численное значение длины в аршинах отличается от численных значений длины в метрах, дюймах и саженях — 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, т.е. лишь для различения объектов. В шкале наименований измерены, например, номера телефонов, автомашин, паспортов, студенческих билетов. Номера страховых свидетельств государственного пенсионного страхования, медицинского страхования, штрих-коды 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. Сравнивать 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, т.е. 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 для того, 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.

Отметим, что 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 взаимнооднозначное 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 взаимнооднозначным.

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. Известно, что в таком случае элементы эмпирической системы можно разбить на классы эквивалентности, между которыми имеется отношение строгого линейного порядка [6].

В порядковой шкале **допустимыми** являются все строго возрастающие преобразования. Так, автору 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, т.е. задания группы допустимых преобразований шкалы измерения — дело специалистов соответствующей прикладной области. Так, оценки привлекательности профессий мы в монографии [6], 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, как уже отмечалось, часто следует считать измеренными в порядковой шкале. Типичным примером являются 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. Так, например, в минералогии используется шкала Мооса, по которому 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 — бофортова 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 так называемой *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, т.е. линейные функции. Температурные шкалы Цельсия и Фаренгейта связаны именно такой зависимостью:

$$^0C = \frac{5}{9}(^0F - 32) \ , \tag{3.1}$$

где $°C$ — температура (в градусах) по шкале Цельсия, а $°F$ — температура по шкале Фаренгейта.

При допустимых преобразованиях в школе интервалов сохраняется отношение длин интервалов:

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{\varphi(x_1) - \varphi(x_2)}{\varphi(x_3) - \varphi(x_4)} \tag{3.2}$$

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 (3.2) 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 начало отсчета — нуль, т.е. 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 школе отношений сохраняется отношение измеряемых величин:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\varphi(x_1)}{\varphi(x_2)} \tag{3.3}$$

для любых чисел x_1 и x_2 (результатов измерений) и любого допустимого преобразования $\varphi(x) = ax, \ a > 0$. Верно и обратное: если равенство (3.3) 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 [1] 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 автоматически 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 рождества Христова. Так, согласно новой статистической хронологии [7], разработанной группой известного 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 г. н.э. [8].

При допустимых преобразованиях в школе разностей сохраняется разность измеряемых величин:

$$x_1 - x_2 = \varphi(x_1) - \varphi(x_2) \tag{3.4}$$

для любых чисел x_1 и x_2 (результатов измерений) и любого допустимого преобразования $\varphi(x) = x + b$. Верно и обратное: если равенство (3.4) 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. 3.1.

Таблица 3.1

Основные шкалы измерения

Тип шкалы	**Определение шкалы**	**Примеры**	**Группа допустимых преобразований** $\Phi = \{\varphi\}$
Шкалы качественных признаков			
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
Шкалы количественных признаков (описываются началом отсчета и единицей измерения)			
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. 3.1, используют и иные типы шкал [2, 9]. Отметим, что в табл. 3.1 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. Отметим, что 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 $°F$ по шкале Фаренгейта с помощью линейного преобразования (3.1). Наконец, после открытия абсолютного нуля температуру можно считать измеренной по шкале *отношений* (шкала Кельвина). Надо отметить, что 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).

3.2. 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. Основополагающим 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, саженях, 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, т.е. субъективен. *Выводы могут быть адекватны реальности только тогда, когда они не зависят от того, какую единицу измерения предпочтет исследователь, т.е. 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, т.е. избавленными от субъективизма исследователя, выбирающего определенную шкалу из множества шкал заданного типа, связанных допустимыми преобразованиями. В статье [9] 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 (т.е. 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 [1].

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, ..., X_n — выборка объема n. Часто используют среднее арифметическое:

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

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. 3.2).

Таблица 3.2

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

№ п/п	Категория работников	Число работников	Заработная 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	1 000	4 000
5	Генеральный директор (владелец)	1	18 500	18 500
6	*Всего*	100	–	40 000

Первые три строки в табл. 3.2 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 °С, а один уже отмучился, лежит в морге с температурой 0 °С. Между тем средняя температура по больнице равна 36 °С — 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. 3.2 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-ти работников заработная плата не превосходит 200, и у 50-ти — 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, т.е. 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 [10] используются средние величины? Обычно для того, чтобы заменить совокупность чисел одним числом, чтобы сравнивать совокупности с помощью средних.

Пусть, например, $Y_1, Y_2, ..., Y_n$ — совокупность оценок экспертов, «выставленных» одному объекту экспертизы (например, одному из вариантов стратегического развития фирмы), $Z_1, Z_2, ..., Z_n$ — 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 $f(X_1, X_2, ..., X_n)$ такая, что при всех возможных значениях аргументов значение этой функции не меньше, чем минимальное из чисел $X_1, X_2, ..., X_n$, 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, принятом как основное требование в ТИ). Сформулируем соответствующую математическую задачу поиска вида средних величин, результат сравнения которых устойчив относительно допустимых преобразований шкалы.

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

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

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:

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

т.е. 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 $Y_1, Y_2, ..., Y_n$ и $Z_1, Z_2, ..., Z_n$ 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 [6], 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.

3.3. Средние величины в порядковой шкале

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

Теорема 1. *Из всех средних по Коши допустимыми средними в порядковой шкале являются только члены вариационного ряда* (*порядковые статистики*).

Теорема 1, впервые полученная в статье [11], справедлива при условии, что средняя величина $f(X_1, X_2, ..., X_n)$ является непрерывной (по совокупности переменных) и симметрической функцией. Последнее означает, что при перестановке аргументов значение функции $f(X_1, X_2, ..., X_n)$ не меняется. Это условие является вполне естественным, 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 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 1 запрещает использовать при анализе порядковых данных (т.е. 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, т.е. 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 [6], кроме теоремы 1, доказано также следующее утверждение.

Теорема 2. *Пусть Y_1, Y_2, ..., Y_m — независимые одинаково распределенные случайные величины с функцией распределения $F(x)$, а Z_1, Z_2, ..., Z_n — независимые одинаково распределенные случайные величины с функцией распределения $H(x)$, причем выборки Y_1, Y_2, ..., Y_m и Z_1, Z_2, ..., Z_n независимы между собой и $MY_1 > MZ_1$. Для того, чтобы вероятность события:*

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

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

$$\overline{\lim_{|x|\to\infty}} \left|\frac{g(x)}{x}\right| < \infty,$$

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 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, т.е.

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

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.

3.4. 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 [6]. Теперь их называют «средними по Колмогорову».

Для чисел $X_1, X_2, ..., X_n$ средним по Колмогорову является

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

где F — строго монотонная функция (т.е. 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 [13] впервые доказаны следующие утверждения.

Теорема 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. *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 $c \to 0$.

Замечание 2. Подробное описание «внутриматематических условий регулярности», упомянутых в формулировках теорем 3 и 4, можно найти в [6, 14]. Доказательства теорем 1–4 приведены в монографии [6]. Перенос на случай взвешенных средних дан в статье [14].

Аналогично средним величинам могут быть изучены и другие статистические характеристики — показатели разброса, связи, расстояния и др. (см., например, [2, 6]). Нетрудно показать, например, что коэффициент корреляции не меняется при любом допустимом преобразовании в шкале интервалов, как и отношение дисперсий. Дисперсия 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 [11, 15]. Обзор [9] 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 [16]. Нацеленное на прикладные исследования изложение ряда вопросов теории измерений дается в монографиях [1, 2, 6, 17, 18].

Контрольные вопросы и задачи

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).

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 $f: R^1 \to R^1$ таких, что

$$(x_1x_2)^{1/2} < (y_1y_2)^{1/2}, [f(x_1)f(x_2)]^{1/2} > [f(y_1)f(y_2)]^{1/2}.$$

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 $f: R^1 \to R^1$ 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?

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).

Литература

1. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

2. *Толстова, Ю.Н.* Измерение в социологии / Ю.Н. Толстова. — Москва : Инфра-М, 1998. — 352 с.

3. *Новиков, Д.А.* Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи) / Д.А. Новиков. — Москва : МЗ-Пресс, 2004. — 67 с.

4. *Новиков, Д.А.* Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи) / Д.А. Новиков, В.В. Новочадов. — Волгоград : Изд-во ВолГМУ, 2005. — 87 с.

5. *Суппес, П.* Основы теории измерений / П. Суппес, Дж. Зинес // Психологические измерения. — Москва : Мир, 1967. — С. 9–110.

6. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

7. *Носовский, Г.В.* Империя. Русь, Турция, Китай, Европа, Египет. Новая математическая хронология древности / Г.В. Носовский, А.Т. Фоменко. — Москва : Факториал, 1996. — 752 с.

8. *Носовский, Г.В.* Царь славян / Г.В. Носовский, А.Т. Фоменко. — Санкт-Петербург : Нева, 2004. — 564 с.

9. *Барский, Б.В.* Средние величины, инвариантные относительно допустимых преобразований шкалы измерения / Б.В. Барский, М.В. Соколов // Заводская лаборатория. — 2006. — Т. 72. — № 1. — С. 59–66.

10. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

11. *Орлов, А.И.* Допустимые средние в некоторых задачах экспертных оценок и агрегирования показателей качества / А.И. Орлов // Многомерный ста-

тистический анализ в социально-экономических исследованиях. — Москва : Наука, 1974. — С. 388–393.

12. *Колмогоров, А.Н.* Об определении среднего / А.Н. Колмогоров // Избранные труды: математика и механика. — Москва : Наука, 1985. — С. 136–138.

13. *Орлов, А.И.* Допустимые преобразования в задаче сравнения средних. Пси-постоянные статистики / А.И. Орлов // Алгоритмы многомерного статистического анализа и их применения. — Москва : ЦЭМИ АН СССР, 1975. — С. 121–127.

14. *Орлов, А.И.* Связь между средними величинами и допустимыми преобразованиями шкалы / А.И. Орлов // Математические заметки. — 1981. — Т. 30. — № 4. — С. 561–568.

15. *Кривцов, В.С.* Современные статистические методы в стандартизации и управлении качеством продукции / В.С. Кривцов, А.И. Орлов, В.Н. Фомин // Стандарты и качество. — 1988. — № 3. — С. 32–36.

16. *Пфанцагль, И.* Теория измерений / И. Пфанцагль. — Москва : Мир, 1976. — 165 с.

17. Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие / В.Н. Федосеев, А.И. Орлов, В.Г. Ларионов, А.Ф. Козьяков. — 2-е изд. — Москва : Изд-во УРАО, 2003. — 220 с.

18. *Орлов, А.И.* Менеджмент в техносфере : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев. — Москва : Академия, 2003. — 384 с.

19. *Орлов, А.И.* Характеризация средних величин шкалами измерения / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2017. — № 134. — С. 877–907.

ГЛАВА 4. 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.

4.1. 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* (глава 3), 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*, т.е. эксперт может сказать (и обосновать), что один тип продукции будет более привлекателен для потребителей. Что один показатель качества продукции более важен, чем другой, первый технологический объект более опасен, 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, т.е. 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, стоящем 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* (*т.е.*

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 методов медиан баллов.*** Такая рекомендация находится в согласии с общенаучной *концепцией устойчивости* [1], 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, 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 следующим образом: Д, Л, М-К, Б, Г-Б, Сол, Стеф, К (по фамилиям менеджеров, предложивших их для рассмотрения). Все проекты были направлены 12 экспертам, включенным в экспертную комиссию, организованную по решению Правления фирмы. В приведенной ниже табл. 4.1 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. При этом 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 4.1

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 (т.е. упомянутую таблицу), члены аналитического подразделения Рабочей группы, анализировавшие ответы экспертов по заданию Правления фирмы, были вынуждены констатировать, что полного согласия между экспертами нет, а потому данные, приведенные в таблице, следует подвергнуть более тщательному математическому анализу.

4.2. Методы средних арифметических и медиан рангов

Метод средних арифметических рангов. Сначала для получения группового мнения экспертов был применен метод средних арифметических рангов. Для этого, прежде всего, была подсчитана сумма рангов, присвоенных проектам (см. табл. 4.1). Затем эта сумма была 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. 4.2 ниже.

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

$$Б < М\text{-}К < \{Л, Сол\} < Д < Стеф < Г\text{-}Б < К. \qquad (4.1)$$

Здесь запись типа «А < Б» означает, что проект А предшествует проекту Б (т.е. 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 (4.1) имеет одну связь.

Метод медиан рангов. Значит, наука сказала свое слово, итог расчетов — ранжировка (4.1), и на ее основе предстоит принимать решение? Так был поставлен вопрос при обсуждении полученных результатов на заседании Правления фирмы. Но тут наиболее знакомый с современной 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 4.2

Результаты расчетов по методу средних арифметических и методу медиан для данных, приведенных в таблице 4.1

	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, то 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, т.е. 5.

Медианы совокупностей из 12 рангов, соответствующих определенным проектам, приведены в предпоследней строке табл. 4.2. (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. 4.2. Ранжировка (т.е. упорядочение — итоговое мнение комиссии экспертов) по медианам имеет вид:

$$\text{Б} < \{\text{М-К}, \text{Л}\} < \text{Сол} < \text{Д} < \text{Стеф} < \text{К} < \text{Г-Б}. \quad (4.2)$$

Поскольку проекты Л и М-К имеют одинаковые медианы баллов, то по рассматриваемому методу ранжирования они эквивалентны, а потому объединены в группу (кластер), т.е. с точки зрения математической статистики ранжировка (4.2) имеет одну связь.

Сравнение ранжировок по методу средних арифметических и методу медиан. Сравнение ранжировок (4.1) и (4.2) показывает их близость (похожесть). Можно принять, что проекты М-К, Л, Сол упорядочены как М-К < Л < Сол, но из-за погрешностей экспертных оценок в одном методе признаны равноценными проекты Л и Сол (ранжировка (4.1)), а в другом — проекты М-К и Л (ранжировка (4.2)). Существенным является только расхождение, касающееся упорядочения проектов К и Г-Б: в ранжировке (4.1) Г-Б < К, а в ранжировке (4.2), наоборот, К < Г-Б. 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.

4.3. 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 внутрь 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, прежде всего, 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, [2,3]). В качестве объектов могут выступать образцы продукции, технологии, математические модели, 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 был 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, ..., 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, ..., 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 2-х 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, ..., 10}. Его структура такова. Задано отношение эквивалентности с 7 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, [4]), «*упорядочение*» (Дж. Кемени, Дж. Снелл, [5]), «*квазисерия*» (Б.Г. Миркин, [6]), «*совершенный квазипорядок*» (Ю.А. Шрейдер [7, с. 127, 130]). Учитывая разнобой в терминологии, было 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 [7, гл. IV]).

Следующее важное понятие — *противоречивость*. Оно определяется 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, т.е. 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 «противоречия» 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 $\{1, 2, 3, ..., 10\}$, 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 (т.е. 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, т.е. его независимость от выбора той или иной пары объектов при упорядочении двух кластеров и транзитивность такого упорядочения, вытекает из соответствующих теорем, доказанных в статье [3].

Два объекта из разных кластеров согласующей кластеризованной ранжировки могут оказаться эквивалентными в одной из исходных кластеризованных ранжировок (т.е. 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, ... обозначим $f(A, B, C, ...)$. 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, т.е. 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 $D = f(A, B, C, ...)$. Если $a < b$ в согласующей кластеризованной ранжировке D, то $a < b$ или $a = b$ в каждой из исходных ранжировок A, B, C, ..., 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 ранжи-

ровке B эти объекты входили в один кластер, т.е. 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, т.е. 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, связная 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.

4. Необходимость согласования кластеризованных ранжировок возникает, в частности, при разработке методики применения экспертных оценок в задачах экологического страхования и химической безопасности биосферы. Как уже говорилось, популярным является метод упорядочения по средним рангам, в котором итоговая ранжировка строится на основе средних арифметических рангов, выставленных отдельными экспертами [2, 8]. Однако из теории измерений известно (см. главу 3), 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 исследование и привыкшие к метод средних арифметических рангов специалисты не поймут и не примут такого решения РГ. Поэтому было принято решение об одновременном применении обеих методов. Реализация этого решения потребовала разработки приведенной выше методики согласования двух указанных кластеризованных ранжировок. Практическая апробация [9, 10] метода продемонстрировала правильность принятого решения об одновременном использовании метода средних арифметических рангов и метода медиан рангов.

Отметим, что во многих случаях кластеризованные ранжировки, полученные двумя методами, совпадали или были весьма близки, как в примере, рассмотренном в разделе 4.2. Теоретическое объяснение этому экспериментальному факту дает теорема 2 главы 3. Можно сказать, что в случае, 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 реальность. 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. Сравнивать 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* [1], 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.

Контрольные вопросы и задачи

1. Чем метод средних арифметических рангов отличается от метода медиан рангов?

2. Почему метод средних арифметических рангов неприемлем с точки зрения теории измерений?

3. Дайте определение понятию «кластеризованная ранжировка».

4. Почему необходимо согласование кластеризованных ранжировок и как оно проводится?

5. В табл. 4.3 приведены упорядочения 7 инвестиционных проектов, представленные 7 экспертами.

Таблица 4.3

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

Постройте таблицу рангов. Найдите:

а) итоговое упорядочение по средним арифметическим рангам;

б) итоговое упорядочение по медианам рангов;

в) кластеризованную ранжировку, согласующую эти два упорядочения.

6. В табл. 4.4 приведены упорядочения 7 инвестиционных проектов, представленные 7 экспертами.

Таблица 4.4

Упорядочения проектов экспертами

Эксперты	Упорядочения
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 (т.е. (–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 [3] и прил. 3 в учебнике [2]).

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).

Литература

1. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

2. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

3. *Горский, В.Г.* Метод согласования кластеризованных ранжировок / В.Г. Горский, А.А. Гриценко, А.И. Орлов // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 3. — С. 159–167.

4. *Холлендер, М.* Непараметрические методы статистики / М. Холлендер, Д. Вулф. — Москва : Финансы и статистика, 1983. — 518 с.

5. *Кемени, Дж.* Кибернетическое моделирование: Некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл. — Москва : Советское радио, 1972. — 192 с.

6. *Миркин, Б.Г.* Проблема группового выбора / Б.Г. Миркин. — Москва : Наука, 1974. — 256 с.

7. *Шрейдер, Ю.А.* Равенство, сходство, порядок / Ю.А. Шрейдер. — Москва : Наука, 1971. — 256 с.

8. Менеджмент : учебное пособие / под ред. Ж.В. Прокофьевой. — Москва : Знание, 2000. — 288 с.

9. *Орлов, А.И.* Менеджмент в техносфере : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев. — Москва : Академия, 2003. — 384 с.

10. Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие / В.Н. Федосеев, А.И. Орлов, В.Г. Ларионов, А.Ф. Козьяков. — Москва : Изд-во УРАО, 2002. — 220 с.

ГЛАВА 5. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ И ГОЛОСОВАНИЕ

На первый взгляд представляется, что метод экспертных оценок может быть лишь вспомогательным средством решения проблем, проигрывая по доказательности по сравнению с экономико-математическим моделированием. Покажем, что это не так. Сначала разберем несколько упрощенный пример задачи принятия решений при управлении организацией. Затем обсудим проблемы практического применения процедур голосования – одного из методов экспертных оценок.

5.1. Пример задачи принятия решения комиссией экспертов

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 «Алеши», низкая цена бензина и выпуск «Добрыни», высокая цена бензина и выпуск «Алеши», 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. 5.1. В частности, за то, что цена бензина окажется низкой, есть 60 шансов из 100, т.е. 60 %. А за то, что она окажется высокой — 40 шансов из 100.

Таблица 5.1

Прибыль фирмы «Русские автомобили» при выпуске автомобилей двух типов (млн руб.)

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

На заседании Совета директоров началась дискуссия. Сначала выступили четыре высококвалифицированных 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 млн, а «Добрыню» — 200 млн. Значит, надо выпускать «Алешу» — и как минимум 500 млн нам обеспечены.

— Нельзя быть таким пессимистом, — заявил горячий Лебедев. — Скорее всего, цена бензина будет низкой (за это — 60 шансов из 100, т.е. больше половины), а высокой — лишь как исключение. Надо быть оптимистами — исходить из того, что все пойдет, 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 «Алеши». Мы получим 750 млн в 60 % случаев (при низкой цене бензина) и 500 млн в 40 % случаев (при высокой его цене), значит, в среднем $750 \times 0{,}6 + 500 \times 0{,}4 = 450 + 200 = 650$ млн. А для варианта «Добрыни» аналогичный расчет дает $1000 \times 0{,}6 + 200 \times 0{,}4 = 600 + 80 = 680$ млн, т.е. 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 табл. 5.1 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 млн вместо 500 млн при решении, соответствующем будущей высокой цене бензина. Если же цена бензина будет низкой — мы прибыль не упускаем. Значит, максимально возможная упущенная выгода составит $500 - 200 = 300$ млн. При выпуске «Алеши» в случае низкой цены бензина упущенная выгода составит $1000 - 750 = 250$ млн, а при высокой цене бензина мы прибыль не упускаем. Значит, при выпуске «Алеши» максимально возможная упущенная выгода равна 250 млн, т.е. будет меньше, чем если мы решим выпускать «Добрыню». Значит, надо выпускать «Алешу», если мы хотим минимизировать максимально возможную упущенную выгоду.

— 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 «Алеши» выступили двое — Воробьев и Куликов, а за выпуск «Добрыни» также двое — Лебедев и Чибисов. Будем голосовать.

Результаты голосования — 15 членов Совета директоров за выпуск «Добрыни», 8 (в основном более осторожные представители старшего поколения) — за выпуск «Алеши». 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, противоречили друг другу, два из них приводили к выводу о выгодности выпуска автомобиля «Алеша», а два — «Добрыня». И Совет директоров решил вопрос голосованием. При этом каждый из голосовавших интуитивно оценивал достоинства и недостатки вариантов, т.е. выступал как эксперт, а весь Совет в целом — как экспертная комиссия. Рассмотренный пример наглядно демонстрирует, что экспертные оценки — один из универсальных методов принятия решений.

Из каких экономико-математических моделей исходили эксперты? Обсудим исходные позиции четырех экспертов. Пессимистическая позиция Воробьева основывается на вполне естественном предположении, что внешние силы действуют против нас, в частности, хотят нанести нам ущерб, подняв 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, 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, разрабатывают обычно инвестиционные проекты и составляют 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.

Позиции пессимиста и оптимиста описывают крайние точки возможного будущего. На поиск компромисса между этими позициями нацелены многие экономико-математические модели. В соответствии с данными табл. 5.1 при выборе «Алеши» фирма получит от 500 до 750 млн руб. прибыли, а при выборе «Добрыни» — от 200 до 1 000 млн. 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 + 1 000) / 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 ($200\alpha + 1\,000(1 - \alpha)$). Сравнивая эти два значения, заключаем, что при $\alpha < 5 / 11$ выгоднее запустить в серию «Добрыню», а при $\alpha \geq 5 / 11$ — «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 (т.е. 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 $\alpha = 0{,}4$.

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 рассматриваемо ситуации нет и быть не может — выбор проводится только один раз. Эту тему мы продолжим обсуждать в заключительном разделе настоящей главы.

Подход Куликова довольно часто рекомендуется во вводных курсах экономической теории. Однако «упущенная 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».

Итак, выступавшие разошлись во мнениях. Однако то или иное решение необходимо принять. Председателю пришлось поставить вопрос на голосование.

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

5.2. Голосование — один из методов экспертных оценок

Голосование — один из методов принятия решения комиссией экспертов. Организация голосования, в частности, на собрании акционеров, имеет свои подводные камни.

Роль регламента. Многое зависит от регламента (т.е. 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.

Используют также и метод относительного большинства. В соответствии с ними 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.

О воздержавшихся. 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 (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Результаты голосования на выборах в Совет директоров

Кандидатура	За	Против	Воздержались
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 все участники голосования воздержались.

Пусть надо выбрать одного человека в Совет директоров. Если председатель заседания спрашивает: «Кто за?», то проходит И.И. Иванов. Если председатель, видя усталость зала от обсуждения предыдущих вопросов, спрашивает: «Кто против?», то выбирают «темную лошадку» С.С. Сидорова, поскольку активные противники остальных менеджеров «выбивают» 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?».

Нетрудно видеть, 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, 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).

Последовательность голосований. Рассмотрим простейшую ситуацию – при голосовании 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. 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 100 руб., а Сидорова отправить в тюрьму». Иванову и Петрову такое решение выгодно – их положение улучшается. Поэтому они голосуют «за». Сидоров, естественно, голосует «против». Два против одного — решение принимается. Сидоров отправляется в тюрьму (но сохраняет право участвовать в голосовании), а Иванов и Петров получают по 100 руб.

Второе голосование проводится по проекту решения: «Иванову и Сидорову — по 100 руб., Петрова — в тюрьму». «За» — Иванов и Сидоров, «против» — Петров. Решение принято и выполнено. Петров присоединяется к Сидорову, сидящему в тюрьме.

Проект решения для третьего голосования таков: «Петрову и Сидорову — по 100 руб., Иванова — в тюрьму». Два «за», один — «против». Решение принято.

Каков итог? Все трое — в тюрьме, но каждому из них выделено по 200 руб. Положение всех троих значительно ухудшилось.

Нечто подобное бывает и в реальных ситуациях. Во время Великой французской революции (1789–1794 гг.) в результате серии последовательных голосований в высшем органе власти (Конвенте) большинство депутатов отправилось на эшафот.

Как добиться нужного решения с помощью голосования? Англичанин С.Н. Паркинсон подробно исследовал ряд отрицательных явлений, широко распространенных в организационных системах. Его весьма критическая книга [1] необходима любому менеджеру, где бы он ни работал — в государственной организации или в частной фирме. Она поможет 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. Он советует поставить его на примерно 25-е место среди 30 вопросов, вынесенных на обсуждение той комиссии, которая должна принять решение. А начать обсуждение с малозначительного вопроса, например, у какой фирмы покупать бумагу для принтера, используемого секретаршей комиссии.

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 продемонстрировать коллегам свои познания (при этом никто не подумает о том, что за время, потраченное на это обсуждение, члены комиссии получат 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?»

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 ироничных рекомендаций. Научные разработки сведены вместе в монографии [2].

5.3. Парадокс Кондорсе

В 1785 г. французский философ и математик М.-Ж.-А. де Кондорсе (1743–1794 гг.) опубликовал одну из первых в мировой истории работ, посвященную проблемам принятия коллективных решений комиссиями экспертов. Речь шла о решениях в ходе выборов депутатов провинциальных ассамблей — тогдашних органов региональной власти.

В этой работе впервые были введены такие важные для современной теории экспертных оценок понятия, как принцип Кондорсе и парадокс Кондорсе. Согласно принципу Кондорсе, для определения воли большинства необходимо, чтобы каждый голосующий проранжировал всех кандидатов в порядке их предпочтения — вместо того, чтобы избирать депутатов относительным или абсолютным большинством голосов.

Рассмотрим пример из работы Кондорсе [3]. Пусть запись A > B > C означает, что голосующий предпочитает кандидата A кандидату B, а кандидата B — кандидату C. Пусть мнения 60 экспертов таковы:

23 человека: A > C > B;
19 человек: B > C > A;
16 человек: C > B > A;
2 человека: C > A > B.

Сравним отношения экспертов к кандидатам A и B. Имеем:

23 + 2 = 25 человек за то, что A > B;
19 + 16 = 35 человек за то, что B > A.

По мнению Кондорсе, итоговое решение экспертной комиссии должно состоять в том, что B лучше A.

Сравнивая A и C, имеем:

23 человека за то, что A > C;
37 человек за то, что C > A.

Отсюда, по Кондорсе, заключаем, что большинство предпочитает кандидата C кандидату A.

Наконец, сравним кандидатов C и B:

19 человек за то, что B > C;
41 человек за то, что C > B.

Следовательно, согласно логике рассуждений Кондорсе, большинство предпочитает кандидата C кандидату B.

Таким образом, по Кондорсе воля большинства выражается в виде трех суждений: C > B; B > A; C > A, которые, очевидно, можно объединить в одно отношение предпочтения C > B > A. Если необходимо выбрать одного из кандидатов, то, согласно принципу Кондорсе, следует предпочесть кандидата C.

Сравним этот вывод с возможным исходом голосования по мажоритарной системе. За A — 23 человека (они назвали A первым среди кандидатов), за B — 19 человек, за C — 18 человек. Таким образом, по системе относительного большинства победит кандидат A. При голосовании по системе абсолютного большинства кандидаты A и B выйдут во второй тур, где кандидат A получит 25 голосов, а кандидат B — 35 голосов и победит.

Таким образом, регламент голосования (другими словами, правила игры) будут определять победителя, и эти победители будут разными при различных правилах голосования.

Рассмотрим еще один пример Кондорсе. Пусть мнения 60 экспертов таковы:

23 человека: A > B > C;
17 человек: B > C > A;
2 человека: B > A > C;
10 человек: C > A > B;
8 человек: C > B > A.

Легко подсчитать, что B > C для 42 проголосовавших, C > A — для 35 и A > B для 33 экспертов.

В соответствии с принципом Кондорсе имеют место три утверждения: B > C, C > A, A > B. Но вместе эти утверждения противоречивы — при попытке упорядочить кандидатов получаем порочный круг! В этом и состоит знаменитый парадокс (эффект) Кондорсе (или парадокс голосования). Итак, существуют такие конкретные результаты голосования, при которых в соответствии с принципом Кондорсе оказывается невозможным принять какое-то согласованное решение и определить волю большинства.

В другой форме парадокс Кондорсе возникает при постатейном принятии некоторого постановления или закона, когда каждая из статей закона принимается большинством голосов, а поставленный на голосование закон в целом отвергается (иногда даже стопроцентным большинством голосующих). Еще хуже, если закон оказывается внутренне противоречивым, включая в себя «порочные круги» статей, принятых большинством голосов.

Третьей версией парадокса Кондорсе является принятие таких коллективных решений, которые на индивидуальном уровне не поддерживал ни один из голосующих. Пусть у нас имеются три человека, голосующих по трем вопросам. Первый их них голосует да — да — нет, второй: да — нет — да, третий: нет — да — да. Суммарный итог голосования подсчитывается как соотношение сумм голосов «да» и «нет» по каждому из вопросов. В рассмотренном случае суммарный итог голосования будет да — да — да. Этот итог не отражает мнения ни одного из голосовавших. Такой же парадокс сопутствует любому способу получения итогового мнения экспертной комиссии, при котором это итоговое мнение может не совпадать ни с одним из высказанных экспертами мнений. Впрочем, если итоговое мнение и совпадет с мнением конкретного эксперта, остальные эксперты могут счесть себя обиженными.

Различные формы парадокса Кондорсе обсуждаются в связи с реалиями выборов и референдумов, иных форм современной деловой и общественной жизни [3].

5.4. Основные понятия теории принятия решений и экспертные оценки

Всем опытным управленцам хорошо известно, что один из наиболее эффективных интеллектуальных инструментов менеджера — это теория принятия решений. Подробно разобранный пример выбора типа автомобиля для запуска в серию наглядно демонстрируют ряд основных понятий теории принятия решений. Обсудим эти понятия в связи с организацией работы экспертной комиссии.

Кто принимает решения? Решение о выборе того или иного типа автомобиля для запуска в серию принимал Совет директоров фирмы «Русские автомобили» большинством голосов. Однако в подготовке решения участвовали и другие люди — специалисты, подготовившие информацию, приведенную в табл. 5.1.

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 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 фирмы «Русские автомобили» или Государственной Думой Российской Федерации.

Проект решения готовят специалисты, как говорят, «аппарат ЛПР», часто 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.

В рассмотренном примере коллективный ЛПР включал в себя экспертов Воробьева, Лебедева, Чибисова и Куликова. Положительной стороной такого организационного решения является личная материальная и моральная заинтересованность перечисленных экспертов в принятии правильных решений. То же самое обстоятельство является и отрицательной стороной. Независимые эксперты часто предпочтительнее. Однако им гораздо труднее войти в реалии конкретной фирмы, чем менеджерам и акционерам этой фирмы.

Порядок подготовки решения (регламент). Часты конфликты между менеджерами по поводу сфер ответственности — кто за что отвечает, кто какие решения принимает. Поэтому очень важны регламенты, определяющие порядок работы. Недаром любое собрание принято начинать с утверждения председательствующего, секретаря и повестки заседания, а работу любого предприятия или общественного объединения — с утверждения его устава. Влияние регламента на результаты принятия решений показано выше при обсуждении процедур голосования.

Цели. Каждое решение направлено на достижение одной или нескольких целей. Например, Совет директоров фирмы «Русские автомобили» желал:

- продолжать выполнять миссию фирмы, т.е. выпуск автомобилей;

- получить максимальную возможную прибыль (в условиях неопределенности будущих цен на бензин).

Эти две цели можно достичь одновременно. Однако так бывает не всегда.

Например, часто встречающаяся формулировка «максимум прибыли при минимуме затрат» внутренне противоречива. Минимум затрат равен 0, когда работа не проводится, но и прибыль тогда тоже равна 0. Если же прибыль велика, то и затраты велики, поскольку и то, и другое связано с объемом производства. Можно либо максимизировать прибыль при фиксированных затратах, либо минимизировать затраты при заданной прибыли, но невозможно добиться «максимума прибыли при минимуме затрат».

Одной и той же цели можно, как правило, добиться различными способами. Например, миссия фирмы «Русские автомобили» будет осуществляться и при выпуске машин типа «Алеша», и при выпуске «Добрыни».

Ресурсы. Каждое решение предполагает использование тех или иных ресурсов. Так, Совет директоров фирмы «Русские автомобили» исходит из существования производства (системы предприятий), позволяющего выпускать автомобили типа «Алеша» и типа «Добрыня» (причем быстрый переход с выпуска одного типа автомобиля на выпуск другого типа невозможен по технологическим причинам). Если бы такого производства не было, то и дискуссия в Совете директоров не имела бы смысла. Конечно, можно было бы сначала обсудить вопрос о строительстве заводов, о посильности таких затрат для фирмы...

Кроме того, предполагается, что у фирмы достаточно финансовых средств, материальных и кадровых ресурсов для массового выпуска автомобилей и того, и другого типа. Ведь надо сначала подготовить производство и работников, закупить сырье и комплектующие изделия, произвести и реализовать продукцию. И только потом получить прибыль (как разность между доходами и расходами). Для подготовки различных разделов бизнес-планов постоянно привлекаются эксперты.

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.

При практической работе над проектом решения важно все время повторять: «Чего мы хотим достичь? Какие ресурсы мы готовы использовать для этого?»

Эти соображения весьма важно учитывать Рабочей группе для правильной ориентации экспертов, для обеспечения четкости постановок задач перед ними.

Риски и неопределенности. Почему четверо выступавших членов Совета директоров разошлись во мнениях? В частности, потому что они по-разному оценивали риск повышения цен на бензин, влияние этого риска на успешность достижения цели.

Многие решения принимаются в условиях риска, т.е. при возможной опасности потерь. Связано это с разнообразными неопределенностями, окружающими нас. Кроме отрицательных (нежелательных) неожиданностей бывают положительные — мы называем их удачами. Менеджеры стараются застраховаться от потерь и не пропустить удачу.

Внутренне противоречива формулировка: «Максимум прибыли и минимум риска». Обычно при возрастании прибыли возрастает и риск — возможность многое или все потерять.

Вернемся к табл. 5.1. Неопределенность не только в том, будет цена на бензин высокой или низкой. *Неопределенности — во всех числах таблицы.* Шансы низкой цены на бензин оценены в 60 %. Этот прогноз, очевидно, не может быть абсолютно точным. Вместо 60 % следовало бы поставить, скажем, (60 ± 3) %. Тем более содержат неустранимые неточности данные о предполагаемой прибыли. Ведь для того, чтобы ее рассчитать, необходимо:

- оценить затраты на подготовку производства и выпуск продукции (это можно сделать достаточно точно, особенно при отсутствии инфляции);
- оценить число будущих покупателей в зависимости от цены и установить оптимальную цену, обеспечивающую максимальную прибыль (отделу маркетинга сделать это достаточно трудно, хотя бы потому, что промежуточным этапом является прогноз социально-экономического развития страны, из которого вытекают финансовые возможности и предпочтения потребителей, размеры налогов и сборов и др.).

В результате вместо 1 000 в таблице должно стоять, скажем, 1 000 ± 200. Следовательно, рассуждения четырех членов Совета директоров, опирающихся на числа из табл. 5.1, строго говоря, некорректны. Реальные числа — иные, хотя и, надеемся, довольно близкие. Необходимо изучить устойчивость выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных, а также по отношению к малым изменениям предпосылок используемой математической модели. Речь идет об общеинженерной и общеэкономической идее — любое измерение проводится с некоторой погрешностью, и эту погрешность необходимо указывать.

Оценка и анализ рисков, разработка рекомендаций по управлению ими — достойные задачи для экспертной комиссии. Могут быть полезны самые разные экспертные технологии, в том числе использующие «мозговой штурм».

Критерии оценки решения. Вспомним еще раз дискуссию в Совете директоров фирмы «Русские автомобили». Каждый из выступавших использовал свой критерий для выбора наилучшего варианта решения. У каждого эксперта также может быть свой собственный критерий, отличный от критериев других экспертов, и РГ придется приложить немало усилий, чтобы добиться того, чтобы эксперты смотрели на проблему с близких позиций.

Воробьев предлагал исходить из наихудшего случая высокой цены бензина. Фактически он рассматривал внешний (для фирмы) мир как врага, который всячески будет стараться уменьшить прибыль фирмы. И в условиях жесткого противодействия со стороны внешнего мира он предлагал выбрать наиболее выгодный вариант решения — выпуск «Алеши». Подход Воробьева хорош при рассмотрении совершенно бескомпромиссного противостояния двух противников, имеющих противоположные интересы, например, двух армий воюющих между собой государств. Как уже отмечалось, существует математизированная наука — так называемая *теория игр*, — в которой рассматриваются методы оптимального поведения в условиях антагонистического или иного конфликта. В дискуссии о выборе типа автомобиля для запуска в серию позиция Воробьева — это позиция крайнего пессимиста, поскольку нет оснований считать внешний мир активным сознательным противником фирмы. Отметим также, что наиболее плохой случай, на который ориентируется теория игр, встречается сравнительно редко (согласно табл. 5.1 — в 40 % случаев). Вместе с тем подход теории игр достаточно популярен в литературе [4–7].

Подход оптимиста Лебедева прямо противоположен подходу Воробьева. Предлагается исходить из самого благоприятного стечения обстоятельств. Внешний мир для Лебедева — друг, а не враг. И надо сказать, что для такой позиции есть основания — низкая цена на бензин в полтора раза вероятнее высокой. С точки зрения теории планирования предложение Лебедева можно было бы взять за основу, добавив возможности коррекции плана в случае неблагоприятных обстоятельств, а именно, повышения цены на бензин. И тут мы наталкиваемся на неполноту дискуссии в Совете директоров — никто не рассмотрел принципиальную возможность подготовки производственной программы «двойного назначения». Выполнение такой программы обеспечивало бы гибкость управления — при низкой цене на бензин был бы налажен выпуск «Добрыни», а при высокой — «Алеши». В частности, такую гибкость обеспечивало бы повышение стандартизации автомашин фирмы, использование в них одних и тех же узлов и деталей, применение для их изготовления одних и тех же технологических процессов. Технологиям сравнения инвестиционных проектов и разработки бизнес-планов посвящено большое число пособий [8–13].

С чисто логической точки зрения оптимизм Лебедева не менее и не более оправдан, чем пессимизм Воробьева. Люди вообще и менеджеры в частности делятся на два типа — оптимистов и пессимистов. 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.

Надо иметь в виду, 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, т.е. несчастье. Недаром в микроэкономической теории полезности рассматривают парадоксальное понятие — полезность денег — и приходят к выводу, что полезность равна логарифму имеющейся суммы [14].

Вернемся к Совету директоров фирмы «Русские автомобили». Совсем с других позиций, чем Воробьев и Лебедев, подошел к делу Чибисов. Его подход фактически предполагает, что придется много раз принимать решения по аналогичным вопросам. Вот он и рассчитывает средний доход, исходя из того, что в 60 % случаев цена бензина будет низкой, а в 40 % случаев — высокой. Такой подход 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 [15] и эконометрики [16], как это делают, например, при статистическом контроле качества продукции и сертификации [17]. Тогда оценка математического ожидания дохода, проведенная Чибисовым, вполне корректна.

Однако Совет директоров фирмы «Русские автомобили» решает вопрос об одном-единственном выборе. Поэтому 60 и 40 % — это не вероятности как пределы частот, что обычно предполагается при применении теории вероятностей, это шансы низкой и высокой цены бензина (иногда употребляют термин «субъективные вероятности»). Использование подобных шансов полезно, чтобы в одном критерии свести вместе пессимистический и оптимистический подходы. Но ссылаться на всем известное практическое значение теории вероятностей в данном случае не приходится.

Четвертый оратор, Куликов, вводит в обсуждение новый критерий — «упущенная выгода». Обратите внимание — средний доход, рассчитанный Чибисовым, больше при выпуске «Добрыни». А упущенная выгода, наоборот, меньше при выпуске «Алеши». Эти два критерия в данном случае противоречат друг другу.

Каждому менеджеру, в том числе при разработке сценария экспертного исследования, приходится решать, какой из критериев для него важнее. В этом ему может помочь теория полезности, хорошо разработанная в экономике (в частности, так называемая «маржинальная полезность» в теории поведения потребителей, и др.) и имеющая развитый математический аппарат [18].

Математико-компьютерная поддержка принятия решения. В настоящее время менеджер может использовать при принятии решения различные компьютерные и математические средства. В памяти компьютеров держат массу информации, организованную с помощью баз данных и других программных продуктов, позволяющих оперативно ею пользоваться. Экономико-математические и эконометрические модели позволяют просчитывать последствия тех или иных решений, прогнозировать развитие событий. Методы экспертных оценок, о которых уже шла речь выше, также весьма математизированы и опираются на использование компьютеров. Эту тематику мы уже обсуждали в разделе 2.5.

Современный этап развития теории принятия решений. Теория принятия решений и, в частности, теория экспертных оценок, — быстро развивающаяся наука. Задачи, которыми она занимается, порождены практикой управленческих решений на различных уровнях – от отдельного подразделения или малого предприятия до государств и международных организаций. Кратко рассмотрим здесь только несколько проблем, активно обсуждающихся на современном этапе развития теории принятия решений. Это — системный подход при принятии решений, современные методы принятия решений и проблема горизонта планирования.

Системный подход при принятии решений. При обсуждении проблем принятия решений часто говорят о системном подходе, системе, системном анализе, системном управлении. Весьма важно учитывать требования системного подхода при проведении экспертного оценивания. Речь идет о том, что надо рассматривать проблему в целом, а не «выдергивать» для обсуждения какую-нибудь одну черту, хотя и важную.

Так, при массовом жилищном строительстве можно «выдернуть» черту (критерий оценки решения) — стоимость квадратного метра в доме. Тогда наиболее дешевые дома — пятиэтажки. Если же взглянуть системно, учесть стоимость транспортных и инженерных коммуникаций (подводящих электроэнергию, воду, тепло и др.), то оптимальное решение уже другое — девятиэтажные дома. В центрах мегаполисов, где весьма высока стоимость земельных участков, этажность должна быть еще выше.

Второй пример. Менеджер банка, отвечающий за распространение банковских карт, может сосредоточиться на рекламе. Между тем ему от системы «банк — владельцы карт» лучше перейти к системе «банк — руководители организаций — владельцы карт». Договоренность с руководителем учреждения, давшим в итоге приказ выплачивать заработную плату с помощью пластиковых карт, принесет нашему менеджеру гораздо больший прирост численности владельцев карт, чем постоянная дорогая реклама. Его ошибка состояла в неправильном выделении системы, с которой он должен работать. Правильное решение могли быть найдено в результате применения экспертной технологии «мозгового штурма».

Менеджер банка будет не прав, оценивая работу подразделений банка в текущих рублях. Обязательно надо учитывать инфляцию [16]. 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.

Различных определений понятия «система» — десятки. Общим в них является то, что о системе говорят как о множестве, между элементами которого имеются связи. Целостность системы и ее «отделенность» от окружающего мира обеспечиваются тем, что взаимосвязи внутри системы существенно сильнее, чем связь какого-либо ее элемента с любым элементом, лежащим вне системы. По определению действительного члена Российской академии наук Н.Н. Моисеева: «Системный анализ — это дисциплина, занимающаяся проблемами принятия решений в условиях, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной природы» [19].

Современные методы принятия решений. Кроме упомянутых или кратко рассмотренных выше методов, прежде всего экспертных, при принятии решений применяют весь арсенал методов современной прикладной математики. Они используются для оценки ситуации и прогнозирования, при выборе целей, для генерирования множества возможных вариантов решений и выбора из них наилучшего [17, 20].

Прежде всего надо назвать всевозможные методы оптимизации (математического программирования). Для борьбы с многокритериальностью используют различные методы свертки критериев, а также интерактивные компьютерные системы, позволяющие вырабатывать решение в процессе диалога человека и ЭВМ. Применяют имитационное моделирование, базирующееся на компьютерных системах, отвечающих на вопрос: «Что будет, если...?», метод статистических испытаний (Монте-Карло), модели надежности и массового обслуживания. Часто необходимы статистические (эконометрические) методы, в частности, методы выборочных обследований.

Особого внимания заслуживают проблемы неопределенности и риска, связанные как с природой, так и с поведением людей. Разработаны различные способы описания неопределенностей: вероятностные модели, теория нечеткости, интервальная математика. Для описания конфликтов (конкуренции) полезна теория игр. Для структуризации рисков используют деревья причин и последствий (диаграммы типа «рыбий скелет»). Менеджеру важно учитывать постоянные и аварийные экологические риски. Плата за риск и различные формы страхования также постоянно должны быть в его поле зрения.

Проблема горизонта планирования. Во многих ситуациях продолжительность проекта не определена либо горизонт планирования инвестора не охватывает всю продолжительность реализации проекта до этапа утилизации. В таких случаях важно изучить влияние горизонта планирования на принимаемые решения. Эта проблема обсуждается в [17, гл. 1.3] (см. также монографию [5]).

В последние годы все большую популярность получает контроллинг — современная концепция системного управления организацией, в основе которой лежит стремление обеспечить ее долгосрочное эффективное существование [23, 24]. В конкретных прикладных работах успех достигается при комбинированном применении различных методов. В контроллинге активно используются эконометрические методы [25], прежде всего технологии экспертных исследований. Для подготовки решений создаются аналитические центры и «ситуационные комнаты», позволяющие соединять человеческую интуицию и компьютерные расчеты. Все шире используются в контроллинге информационные технологии поддержки принятия решений.

Теория и практика экспертных оценок — развитая научная и практическая дисциплина с большим числом подходов, идей, алгоритмов, теорем и способов их практического использования. Однако необходимо подчеркнуть — *менеджер отвечает за принятие решений и не имеет права переложить ответственность на специалистов (экспертов).*

Контрольные вопросы и задачи

1. Какой из критериев принятия решения, высказанных на заседании Совета директоров фирмы «Русские автомобили» Воробьевым, Лебедевым, Чибисовым и Куликовым, представляется Вам наиболее естественным? Как бы Вы сами поступили на месте Совета директоров фирмы «Русские автомобили»?

2. Какой образец мотоцикла запустить в серию? Исходные данные для принятия решения приведены в табл.5.3. Разберите четыре критерия принятия решения: пессимистичный, оптимистичный, средней прибыли, минимальной упущенной выгоды.

Таблица 5.3

Прибыль фирмы при различном выборе образца мотоцикла для запуска в серию (млн руб.)

Цена бензина	**Мотоцикл «Витязь»**	**Мотоцикл «Комар»**
Низкая (20 %)	900	700
Средняя (60 %)	700	600
Высокая (20 %)	100	400

3. Чем отличаются правила голосования «Кто за?» и «Кто против?» Какова роль воздержавшихся в каждом из этих случаев?

4. В чем состоит парадокс Кондорсе? Какие формы (версии) парадокса Вам известны?

5. Целесообразно ли, на Ваш взгляд, купить 1 000 билетов лотереи с целью разбогатеть?

6. Расскажите о системном подходе к принятию решений на основе технологий экспертных оценок.

Темы докладов и рефератов

1. Теория конечных антагонистических игр и ее применения в экономике.

2. Теория статистических решений применительно к дискуссии на заседании Совета директоров фирмы «Русские автомобили».

3. Различные методы организации голосования в малых группах (с использованием результатов научных исследований, приведенных в монографии [2]).

4. Проанализируйте утверждение «максимум прибыли при минимуме затрат». Как можно избавиться от его противоречивости? Предложите как можно больше способов.

5. Имеет ли точный смысл утверждение «цель работы фирмы — максимизация прибыли»?

6. Проведите системный анализ конкретной хорошо знакомой Вам производственной ситуации и примените изученные Вами методы 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.

Литература

1. *Паркинсон, С.Н.* Законы Паркинсона : сборник / С.Н. Паркинсон ; перевод с английского Н. Трауберг. — Москва : Прогресс, 1989. — 448 с.

2. *Вольский, В.И.* Голосование в малых группах. Процедуры и методы сравнительного анализа / В.И. Вольский, З.М. Лезина. — Москва : Наука, 1991. — 192 с.

3. *Собянин, А.А.* Демократия, ограниченная фальсификациями: выборы и референдумы в России в 1991–1993 гг. / А.А. Собянин, В.Г. Суховольский. — Москва : ИНДЕМ, 1995. — 265 с.

4. *Нейман, фон Дж.* Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштейн. — Москва : Наука, 1970.

5. *Дюбин, Г.Н.* Введение в прикладную теорию игр / Г.Н. Дюбин, В.Г. Суздаль. — Москва : Наука, 1981.

6. *Воробьев, Н.Н.* Теория игр: Лекции для экономистов-кибернетиков / Н.Н. Воробьев. — Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1974.

7. *Гермейер, Ю.Б.* Игры с непротивоположными интересами / Ю.Б. Гермейер. — Москва : Наука, 1976.

8. *Ковалев, В.В.* Методы оценки инвестиционных проектов / В.В. Ковалев. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 144 с.

9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования : официальное издание : утверждено Госстроем РФ, Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госкомпромом России 31 марта 1994 г. № 7-12/47. — Москва : Минэкономики РФ, 1994. — 80 с.

10. *Курач, Л.А.* Разработка бизнес-плана предприятия / Л.А. Курач, Л.Н. Лепе, П.М. Семенов. — Москва : Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, 1996. — 90 с.

11. *Маниловский, Р.Г.* Бизнес-план / Р.Г. Маниловский. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 160 с.

12. Сборник бизнес-планов с комментариями и рекомендациями / под редакцией В.М. Попова. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 488 с.

13. Управление инвестициями. В 2-х томах. Т. 2 / В.В. Шеремет, В.М. Павлюченко, В.Д. Шапиро [и др.]. — Москва : Высшая школа, 1998. — 512 с.

14. *Пиндайк, Р.* Микроэкономика / Р. Пиндайк, Д. Рубинфельд. — Москва : Экономика ; Дело, 1992. — 510 с.

15. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

16. *Орлов, А.И.* Эконометрика / А.И. Орлов. — 3-е изд. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

17. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

18. *Фишберн, П.* Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. — Москва : Наука, 1978. — 352 с.

19. *Моисеев, Н.Н.* Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. — Москва : Наука, 1981. — 488 с.

20. *Орлов, А.И.* Теория принятия решений / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 576 с.

21. *Науман, Э.* Принять решение, но как? / Э. Науман. — Москва : Мир, 1987. — 198 с.

22. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

23. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примак, С.Г. Фалько. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

24. *Хан, Д.* Планирование и контроль: концепция контроллинга / Д. Хан ; под редакцией А.А. Турчака. — Москва : Финансы и статистика, 1997. — 800 с.

25. *Орлов, А.И.* Эконометрическая поддержка контроллинга / А.И. Орлов // Контроллинг. — 2002. — № 1. — С. 42–53.

ЧАСТЬ 2. МАТЕМАТИКА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

ГЛАВА 6. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Перейдем к обсуждению математических оснований теории экспертных оценок.

6.1. 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, т.е. 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 (т.е. 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 [1, гл. 1.3], а более подробно, со всеми доказательствами — в монографии [2]).

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. Другими словами, 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, конечно, 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*) [3] *позволяет решать более сложные задачи, чем статистика ранжировок или разбиений.* В частности, вместо гипотезы равномерного распределения можно рассматривать гипотезу однородности, т.е. 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, удается 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 сравнений* (*люсианов*) *разработаны методы, позволяющие проверять возможность объединения кластеров как статистическую гипотезу*. Это — еще один аргумент за то, чтобы рассматривать теорию люсианов как ядро математических методов экспертных оценок [1].

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 (чьи 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 $Q = \{q_1, q_2, ..., q_k\}$ — это подмножество *декартова квадрата* $Q^2 = \{(q_m, q_n), m, n = 1, 2, ..., k\}$. 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 сказанного 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 6.1. *Расстояние Кемени между бинарными отношениями А и В, описываемыми матрицами* $\|a(i, j)\|$ и $\|b(i, j)\|$ *соответственно, называется число:*

$$D(A,B) = \sum_{i,j=1}^{k} | a(i,j) - b(i,j) | ,$$

т.е. 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 [4], которая сыграла большую роль в развитии в нашей стране такого научного направления, как анализ нечисловой информации [5, 6]. В дальнейшем под влиянием Кемени были предложены различные системы аксиом для получения расстояний в тех или иных нужных для социально-экономических исследований пространствах, например, в пространствах множеств [2].

Медиана Кемени и законы больших чисел. С помощью расстояния Кемени находят итоговое мнение комиссии экспертов. Пусть A_1, A_2, A_3, ..., A_p — ответы p экспертов, представленные в виде бинарных отношений. Для их усреднения используют так называемую ***медиану Кемени:***

$$Arg \min_{\{A\}} \sum_{i=1}^{p} D(A_i, A) ,$$

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,

$$\sum_{i=1}^{p} D(A_i, A) = D(A , A) + D(A_2, A) + D(A_3, A) + ... + D(A_p, A).$$

Кроме медианы Кемени, используют и другие средние величины в пространстве бинарных отношений, например, введенное в [4] ***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 [3]. Для нее справедлив закон больших чисел, т.е. эмпирическое среднее приближается при росте числа составляющих (т.е. p — числа слагаемых в сумме), к теоретическому среднему:

$$Arg\min_{\{A\}} \sum_{i=1}^{p} D(A_i, A) \to Arg\min_{\{A\}} M(D(A_1, A)).$$

Здесь M — символ математического ожидания. Предполагается, что ответы p экспертов A_1, A_2, A_3, ..., A_p есть основания рассматривать как независимые одинаково распределенные случайные элементы (т.е. 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, [3, 7]).

Законы больших чисел показывают, во-первых, что медиана Кемени обладает *устойчивостью* по отношению к незначительному изменению состава экспертной комиссии; во-вторых, 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 — задача целочисленного программирования. Для ее нахождения используются различные алгоритмы дискретной математики, в частности, основанные 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, ..., A_9 (см. табл. 6.1). Найдем в этом множестве *медиану* для множества из 5 элементов $\{A_2, A_4, A_5, A_8, A_9\}$.

Таблица 6.1

Матрица попарных расстояний

Элементы	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 $A = A_1, A_2, A_3, \ldots, A_9$ 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 $\{A\} = \{A_1, A_2, A_3, ..., A_p\}$, 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, [8]), то модифицированную медиану Кемени можно найти без привлечения компьютера, как это и продемонстрировано выше.

6.2. 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 [3]. 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.

Прежде всего отметим, что 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, [3, 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 соотнесении дискретных и непрерывных математических моделей автор услышал более 30 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 производных по параметрам. Аналогично положение с методом одношаговых оценок, идущим на смену методу максимального правдоподобия [3, гл. 6]. Асимптотику решений экстремальных статистических задач достаточно изучить для пространств произвольной природы, а затем применять в каждом конкретном случае [9], когда задачу прикладной статистики удается 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 [3, разд. 7.3].

Совершенно ясно, что в конкретных областях прикладной статистики накоплено большое число результатов, относящимся 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, т.е. в стандартных обозначениях d: $X^2 \to R^1$, где R^1 — прямая, т.е. 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 6.1. 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 6.2. 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 6.3. Евклидовым расстоянием в пространстве R^k векторов вида $x = (x(1), x(2), ..., x(k))$ и $y = (y(1), y(2), ..., y(k))$ 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 6.4. 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 6.5. В пространстве функций, элементами которого являются функции $x = x(t)$, $y = y(t)$, $0 \le t \le 1$, часто используют расстояние Колмогорова:

$$d(x, y) = \sup_{0 \le t \le 1} |x(t) - y(t)|.$$

Пример 6.6. Пространство функций, элементами которого являются функции $x = x(t)$, $y = y(t)$, $0 \le t \le 1$, превращают в метрическое пространство (т.е. 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 6.7. 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 6.8. 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 6.9. 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,

$$A\Delta B = (A \setminus B)\bigcup(B \setminus A).$$

Если мера — так называемая считающая, т.е. 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 6.10. Между множествами можно ввести и другое расстояние (псевдометрику):

$$d_1(A,B) = \frac{\mu(A\Delta B)}{\mu(A\bigcup B)}.$$

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 6.11. В конечномерном векторном пространстве показателем различия является

$$d(x,y)=\sum_{j=1}^{k}(x(j)-y(j))^2$$

(сравните с примером 6.3).

Показателями различия, но не расстояниями являются такие популярные в прикладной статистике показатели, как дисперсия или средний квадрат ошибки при оценивании.

Иногда отказываются также и от аксиомы симметричности.

Пример 6.12. 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 [10].

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.

6.3. Аксиоматическое 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 [4], в которой дана система аксиом для расстояния Кемени между упорядочениями. Последовала большая серия работ, в которых из тех или иных систем аксиом выводился вил метрики или показателя различия для различных видов данных, прежде всего для объектов нечисловой природы. Многие полученные результаты описаны в обзоре [11], 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: $X = \{x_1, x_2, ..., x_k\}$. Тогда толерантность описывается квадратной матрицей $A = \|a(i, j)\|$, $i, j = 1, 2, ..., k$, 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 $a_2(i, j)$, т.е. выполнены либо неравенства $a_1(i, j) \leq a_3(i,j) \leq a_2(i, j)$, либо неравенства $a_1(i, j) \geq$ $\geq a_3(i, j) \geq a_2(i, j)$.

Теорема 6.1 [2]. Пусть

(I) $d(A_1, A_2)$ — метрика в пространстве толерантностей, определенных на конечном множестве $X = \{x_1, x_2, ..., x_k\}$;

(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, т.е. $a_1(i, j) = a_2(i, j)$ 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.6.1 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 6.1 вытекает из рассмотрений, 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 6.1 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 6.2. Множество B находится между множествами A и C, если $(A \cap C) \subseteq B \subseteq (A \cup C)$.

С помощью определения 6.2 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 6.1. Оно соответствует аксиоме 3 Кемени и Снелла [4, с. 22] для расстояний между упорядочениями.

Аксиома 6.1. Если $A \bigcap C = B \bigcap C = \varnothing$, то $d(A,B) = d(A \bigcup C, B \bigcup C)$.

Определение 6.3. 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 [12, с. 38].

Теорема 6.2. Пусть W — алгебра множеств, d: $W^2 \to R^1$. Тогда аксиома 1 эквивалентна следующему условию: $d(A, B) = d(A \backslash B, B \backslash A)$ для любых $A, B \in W$.

Доказательство. Поскольку

$$(A \setminus B) \bigcap (A \bigcap B) = \varnothing, \ (B \setminus A) \notin \bigcap (A \bigcap B) = \varnothing,$$

то равенство $d(A,B) = d(A \backslash B, B \backslash A)$ следует из аксиомы 1. Обратное утверждение вытекает из того, что в условиях аксиомы 1

$$(A \bigcup C) \setminus (B \bigcup C) = A \setminus B, \ (B \bigcup C) \setminus (A \bigcup C) = B \setminus A.$$

Теорема 6.2 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 6.2. Если B лежит между A и C, то $d(A, B) + d(B, C) = d(A, C)$.

Определение 6.4. Неотрицательная функция μ, определенная на алгебре множеств W, называется мерой, если для любых двух непересекающихся множеств A и B из W справедливо соотношение

$$\mu(A \bigcup B) = \mu(A) + \mu(B).$$

Понятие меры — это обобщение понятий длины линии, площади фигуры, объема тела.

Теорема 6.3. Пусть W — алгебра множеств, аксиомы 1 и 2 выполнены для функции d: $W^2 \to [0; +\infty]$. 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

$$d(A,B) = \mu(A \Delta B) \tag{6.1}$$

при всех A и B из W, где $A\Delta B$ — симметрическая разность множеств A и B, т.е. $A\Delta B = (A \setminus B) \bigcup (B \setminus A)$.

Доказательство. Положим:

$$\mu(B) = d(\varnothing, B), \quad B \in W. \tag{6.2}$$

Покажем, что определенная формулой (6.2) функция множества μ является мерой. Неотрицательность μ следует из неотрицательности d. Остается доказать аддитивность, т.е. что из $A \bigcap B = \varnothing$ следует, что

$$\mu(A \bigcup B) = \mu(A) + \mu(B), \ A \in W, B \in W. \tag{6.3}$$

Поскольку A всегда лежит между $\varnothing$ и $A \bigcup B$, то по аксиоме 6.2:

$$\mu(A \bigcup B) = d(\varnothing, A \bigcup B) = d(\varnothing, A) + d(A, A \bigcup B) = \mu(A) + d(A, A \bigcup B). \tag{6.4}$$

Если $A \cap B = \varnothing$, то по аксиоме 1 $d(\varnothing, B) = d(A, A \bigcup B)$, откуда с учетом (6.4) и следует (6.3).

Докажем соотношение (6.1). Поскольку $A \backslash B$ и $B \backslash A$ имеют пустое пересечение, то согласно определению 6.2 пустое множество $\varnothing$ лежит между $A \backslash B$ и $B \backslash A$. Поэтому по аксиоме 6.2:

$$d(A \setminus B, B \setminus A) = d(A \setminus B, \varnothing) + d(\varnothing, B \setminus A).$$

Из симметричности и соотношения (6.2) следует, что

$$d(A \setminus B, \varnothing) = d(\varnothing, A \setminus B) = \mu(A \setminus B),$$

откуда $d(A \backslash B, B \backslash A) = \mu(A \backslash B) + \mu(B \backslash A)$. Из соотношения (6.3) следует, что $\mu(A \backslash B) +$ $+ \mu(B \backslash A) = \mu(A \Delta B)$. С другой стороны, по аксиоме 6.2:

$$d(A \setminus B, B \setminus A) = d((A \setminus B) \bigcup (A \bigcap B), (B \setminus A) \bigcup (A \bigcap B)) = d(A, B).$$

Из трех последних равенств вытекает справедливость равенства (6.1).

Остается доказать единственность меры μ в соотношении (6.1). Поскольку $A\Delta B = B$ при $A = \varnothing$, то из (6.1) следует (6.2), т.е. однозначность определения меры $\mu = \mu(d)$ по расстоянию d. Теорема 6.3 доказана.

Теорема 6.4 (обратная). Пусть μ — мера, определенная на алгебре множеств W. Тогда функция $d(A,B) = \mu(A\Delta B)$ является псевдометрикой, для нее выполнены аксиомы 6.1 и 6.2.

Доказательство. То, что функция $d(A, B)$ из (6.1) задает псевдометрику, хорошо известно (см., например, [13, с. 79]). Доказательство аксиомы 6.2 содержится в [14, с. 181–183]. Аксиома 6.1 следует из того, что условия $A\bigcap C = B\bigcap C = \varnothing$ обеспечивают справедливость соотношений:

$$(A\bigcup C)\Delta(B\bigcup C) = ((A\bigcup C)\setminus(B\bigcup C))\bigcup((B\bigcup C)\setminus(A\bigcup C)) = (A\setminus B)\bigcup(B\setminus A) = A\Delta B.$$

Замечание. Полагая в аксиоме 6.2 $A = B = C$, получаем, что $d(A, A) + d(A, A) = d(A, A)$, т.е. $d(A, A) = 0$. Согласно теоремам 6.3 и 6.4, из условий теоремы 6.3 следует неравенство треугольника. Таким образом, в теореме 6.3 действительно приведена система аксиом, определяющая семейство псевдометрик в пространстве множеств.

Обсудим независимость (друг от друга) условий теоремы 6.3. Отбрасывание неотрицательности функции d приводит к тому, что слово «мера» в теоремах 6.3 и 6.4 необходимо заменить на «заряд» [12, 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 6.1, но не выполнена аксиома 6.2, следовательно, ее нельзя представить в виде (6.1).

Приведем пример системы множеств W и метрики в ней, для которых верна аксиома 6.2, но не верна аксиома 6.1, а потому эту метрику нельзя представить в виде (6.1). Пусть W состоит из множеств $\varnothing, A, B, A\bigcup B,$ причем $A\cap B = \varnothing$, а расстояния таковы:

$$d(\varnothing, A) = d(\varnothing, B) = 1,\ \ d(A, A\bigcup B) = d(B, A\bigcup B) = d(A, B) = 2,\ \ d(\varnothing, A\bigcup B) = 3.$$

Если единица X алгебры множеств W конечна, т.е. $X = \{x_1, x_2, ..., x_k\}$, то расстояние (6.1) принимает вид:

$$d(A,B) = \sum_{i=1}^{k} \mu_i \mid \chi_A(x_i) - \chi_B(x_i) \mid, \tag{6.5}$$

где χ_C — индикатор (индикаторная функция) множества C, т.е. $\chi_C(x) = 1$, 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, т.е.

$$\mu_i = \mu(\{x_i\}) = d(\varnothing, \{x_i\}).$$

Если все коэффициенты μ_i положительны, то формула (6.5) 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 $\mu_i \equiv 1$. Требование равноправности содержится в аксиомах 2 и 4 Кемени [4, с. 21–22].

Применим полученные результаты к толерантностям и докажем теорему 6.1. Совокупность всех толерантностей, определенных на конечном множестве Y, естественным образом ассоциируется с совокупностью всех подмножеств множества $X = \{(y_i, y_j), 1 \le \mathrm{i} < j \le k\}$. 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 6.2 понятия «находиться между» для множеств полностью соответствует ранее данному определению понятия «находиться между» для толерантностей.

Теорема 6.5. Пусть выполнены условия (I) и (II) теоремы 6.1 и аксиома 6.1. Тогда существуют числа $\mu_{ij} > 0$ такие, что

$$d(A,B) = \sum_{1 \le i < j \le k} \mu_{ij} \, | a(i,j) - b(i,j) |. \tag{6.6}$$

Для доказательства достаточно сослаться на теорему 6.3. Поскольку в условии (I) требуется, чтобы функция $d(A, B)$ являлась метрикой, то необходимо $\mu_{ij} > 0$.

Теорема 6.6. Пусть выполнены условия теоремы 6.1 и, кроме того, аксиома 6.1. Тогда верно заключение теоремы 6.1.

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 6.1

$d(\varnothing, A) = 1$, а согласно (6.6) имеем $d(\varnothing, A) = \mu_{i_0 j_0}$. Следовательно, коэффициент $\mu_{i_0 j_0} = 1$, что и требовалось доказать.

Для окончательного доказательства теоремы 6.1 осталось избавиться от требования справедливости аксиомы 6.1.

Доказательство теоремы 6.1. Рассмотрим две толерантности A и B такие, что при представлении их в виде множеств $A \subseteq B$. Это означает, что $a(i, j) \le b(i, j)$ при всех i, j. Поскольку X — конечное множество, то существует конечная последовательность толерантностей $A_1, A_2, .., A_m, ..., A_t$ такая, что $A_1 = A$, $A_t = B$, $A_1 \subseteq \subseteq A_2 \subseteq ... \subseteq A_m \subseteq ... \subseteq A_t$, 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):

$$d(A, B) = d(A_1, A_2) + d(A_2, A_3) + ... + d(A_m, A_{m+1}) + ... + d(A_{t-1}, A_t).$$

По условию (III) $d(A_m, A_{m+1}) = 1$ при всех m, а потому заключение теоремы 6.1 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 6.1 верно всегда.

Замечание 6.1. Таким образом, условие (III) не только дает нормировку, но и заменяет аксиому 6.1.

Замечание 6.2. Условие (I) теоремы 6.1 не использовалось в доказательстве, но было приведено в первоначальной публикации [15], чтобы подчеркнуть цель рассуждения. По той же причине оно сохранено в формулировке теоремы 6.1, 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 $g \le h$, если указанные соотношения справедливы почти всюду по μ на E (т.е. могут нарушаться лишь на множестве нулевой меры).

Аксиоматически введем расстояние в пространстве $L(E, \mu)$ (изложение следует работе [16]). Обозначим $M(g, h) = \max(g, h)$ и $m(g, h) = \min(g, h)$. Пусть функция D: $L(E, \mu) \times L(E, \mu) \to R^1$ — тот основной объект изучения, аксиомы для которого будут сейчас сформулированы.

Аксиома 6.3. Если $gh = 0$, $g + h \neq 0$, то $D(g, h) = 1$.

Аксиома 6.4. Если $h \leq g$, то $D(g, h) = C \int (g - h)\, d\mu$, где множитель C не зависит от h, т.е. $C = C(g)$.

Лемма. Из аксиом 6.3, 6.4 следует, что для $h \leq g \neq 0$:

$$D(g,h) = \frac{\int (g-h)d\mu}{\int g d\mu}.$$

Для доказательства заметим, что по аксиоме 6.3 $D(g, 0) = 1$, а по аксиоме 6.4 $D(g, 0) = C\int g d\mu$, откуда $C = (\int g d\mu)^{-1}$. Подставляя это соотношение в аксиому 6.4, 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 6.5. 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), т.е. наибольшее несходство, соответствует множествам, не имеющим общих элементов. Расстояние, введенное в теореме 6.3 (формула (6.1)), этому условию не удовлетворяет. Поэтому в пространстве множеств была аксиоматически введена [11] так называемая D-метрика (от *dissimilarity* (англ.) — несходство), для которого это условие выполнено. Она имеет вид:

$$D(A,B) = \begin{cases} \dfrac{\mu(A \Delta B)}{\mu(A \cup B)}, & \mu(A \cup B) > 0, \\ 0, & \mu(A) = \mu(B) = 0. \end{cases} \tag{6.7}$$

Приведенные выше аксиомы являются обобщениями соответствующих аксиом для D-метрики в пространстве множеств.

Теорема 6.7. Из аксиом 6.3–6.5 следует, что

$$D(g,h)=\begin{cases}\dfrac{\int |g-h|\,d\mu}{\int M(g,h)d\mu}, & g+h\neq 0,\\ 0, & g=h=0.\end{cases} \tag{6.8}$$

Доказательство. Поскольку

$$(M(g,\ h)-g)+(M(g,\ h)-h)=|g-h|,$$

то заключение теоремы 6.7 при $g+h\neq 0$ вытекает из леммы и аксиомы 6.5. Из аксиомы 6.4 при $g=0$ следует, что $D(0,\ 0)=0$. Легко видеть, что функция D, заданная формулой (6.8), удовлетворяет аксиомам 6.3–6.5 и, кроме того, $D(g,\ h)\leq 1$ при любых g и h.

Замечание. Если g и h — индикаторные функции множеств, то формула (6.8) переходит в формулу (6.7). Если g и h — функции принадлежности нечетких множеств, то формула (8) задает метрику в пространстве нечетких множеств, а именно, D-метрику в этом пространстве [11].

Теорема 6.8. Функция $D(g,\ h)$, определенная формулой (6.8), 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 (6.8) и, кроме того,

$$R=\int M(g,f)\,d\mu-\int M(f,\ h)\,d\mu\geq 0$$

(частные случаи с использованием нижней строки формулы (6.8) рассматриваются элементарно, а справедливости последнего неравенства можно добиться заменой обозначений функций – элементов пространства $L(E,\ \mu)$). Тогда

$$D(g,f)+D(f,h)\geq\frac{\int(|g-f|+|f-h|)d\mu}{\int M(g,f)d\mu}, \tag{6.9}$$

причем равенство имеет место тогда и только тогда, когда $R = 0$ или $f = h$. Положим:

$$P = \int (|g - f| + |\mathrm{f} - \mathrm{h}| - |g - h|)\, d\mu,\ Q = \int (M(g, f) - M(g, h))\, d\mu.$$

Ясно, что $P \geq 0$ и

$$\frac{\int (|g-f|+|f-h|)d\mu}{\int M9g, f)d\mu} = \frac{\int |g-h|\, d\mu + P}{\int M(g,h)d\mu + Q}. \tag{6.10}$$

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

$$\frac{x+P}{y+Q} > \frac{x}{y}. \tag{6.11}$$

Из соотношений (6.10) и (6.11) 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:

$$M(g, h) = g + h - m(g, h) \tag{6.12}$$

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

$$k = |f - h| - (m(g, f) - m(g, h)) \geq (f - h) - (m(g, f) - m(g, h)). \qquad (6.13)$$

В соответствии с (6.12) правая часть (6.13) 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 (6.9) и (6.10) 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

$$m(g, h) \leq f \leq M(g, h). \qquad (6.14)$$

Из правого неравенства в (6.14) 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 $X = \{x \in E: h(\mathrm{x}) < g(x)\}$. Тогда $M(g, h)(x) = M(f, h)(x) = g(\mathrm{x}) > h(x)$, т.е. $h(x) < f(x) = M(g, h)(x)$ 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 (6.14) $f(z) = M(g, h)(z)$, 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 $D(g, h) = 1 - b$, т.е. расстояние между подобными функциями линейно зависит от коэффициента подобия. Далее, пусть $a > 0$, тогда $D(ag, ah) = D(g, h)$. Таким образом, метрика (6.8) инвариантна по отношению к преобразованиям подобия, которые образуют группу допустимых преобразований в шкале отношений. Это дает основания именовать метрику (6.8) метрикой подобия [16].

6.4. 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. [3, 7]).

Компьютерное изучение свойств медианы Кемени при конечных объемах выборок. С помощью специально разработанной программной системы В.Н. Жихаревым был проведен ряд серий численных экспериментов по изучению свойств выборочных медиан Кемени. Представление о полученных результатах дает табл. 6.2, взятая из статьи [17].

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, т.е. вероятность выбора определенной ранжировки убывала с увеличением расстояния Кемени этой ранжировки от центра.

Определение 6.5. 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 [2, 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. 6.2, можно комментировать разными способами. Неожиданным 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 (т.е. 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 6. Грубо говоря, всяческие «патологии» в поведении медианы Кемени наиболее резко проявляются в ситуации, когда ее применение не имеет содержательного обоснования, т.е. когда у экспертов нет основы для согласия, их ответы равномерно распределены на множестве ранжировок.

Таблица 6.2

Вычислительный эксперимент
по изучению свойств медианы Кемени

Характеристики серий эксперимента	**Численные значения**					
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

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, которые здесь не рассматриваем. Они связаны, 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.

6.5. Коэффициенты корреляции и конкордации

Термин «корреляция» означает «связь». Применительно к анализу данных этот термин обычно используется в сочетании «коэффициенты корреляции». Рассмотрим линейный и непараметрические парные коэффициенты корреляции.

Обсудим способы измерения связи между двумя случайными переменными. Пусть исходными данными является набор случайных векторов $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega)),\ \ i = 1,2,...n.$ 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 $y_i = ax_i + b,$ 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 $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega)),\ \ i = 1,2,...n,$ независимы и одинаково распределены, то выборочный коэффициент корреляции сходится к теоретическому при безграничном возрастании объема выборки:

$$r_n \to \rho = \frac{M(x_1 - M(x_1))(y_1 - M(y_1))}{\sqrt{D(x_1)}\sqrt{D(y_1)}}$$

(сходимость по вероятности в предположении, что существуют дисперсии координат случайного вектора).

Более того, выборочный коэффициент корреляции является асимптотически нормальным. Это означает, что

$$\lim_{n\to\infty} P\left(\frac{r_n - \rho}{\sqrt{D_0(r_n)}} < x\right) = \Phi(x),$$

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 [18, 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,

$$\mu_{km} = M\left\{(x_1 - M(x_1))^k (y_1 - M(y_1))^m\right\}.$$

Коэффициенты корреляции типа r_n используются во многих алгоритмах многомерного статистического анализа.

В теоретических рассмотрениях часто считают, что случайные вектора $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega)),\ i = 1,2,...n,$ имеют двумерное нормальное распределение. Распределения реальных данных, как правило, отличны от нормальных [3, 7]. 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 $x_1, x_2, ...x_n$. Для каждого y_i рассчитать его ранг q_i в вариационном ряду, построенном по выборке $y_1, y_2, ...y_n$. Для набора из n пар (r_i, q_i), $i = 1,2,...,n$, вычислить линейный коэффициент корреляции. Он называется коэффициентом ранговой корреляции, поскольку определяется через ранги. В качестве примера рассмотрим данные из табл. 6.3.

Таблица 6.3

Данные для расчета коэффициентов корреляции

Переменные	**Численные значения**				
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 табл. 6.3 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 3), как и другие ранговые статистики, например, статистики Вилкоксона, Смирнова, типа омега-квадрат для проверки однородности независимых выборок [3, 7].

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 [19], необходимые для практических расчетов таблицы имеются в справочнике [20]. Дискуссия о выборе вида коэффициентов корреляции продолжаются до настоящего времени [21].

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 τ Кендалла определяется так [19]. Пусть N — количество тех упорядоченных пар индексов (i, j), $i < j$, для которых эксперты одинаково упорядочивают объекты, т.е. 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. 6.3. 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:

$$\begin{Vmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \dots & r_{m,n} \end{Vmatrix} . \qquad (6.15)$$

В фундаментальном справочнике [20] используется более общая терминология. Вместо ранжировки, полученной от i-го эксперта, рассматривается ранжировка по i-му признаку.

Более подробно, в [20] 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» [20, табл. 6.10].

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):

$$W = \frac{12 S_W}{m^2 (n^3 - n)},$$

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 (6.15) ранги (порядковые номера) $r_{1,j}, r_{2,j}, \ldots, r_{m,j}$ 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, т.е. 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 — другу 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 [19, 20].

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 [20], 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 [20] рекомендуется использовать аппроксимацию бета-распределением (B-распределением).

Подробнее о ранговой корреляции и ее применениях, о мощности критериев некоррелированности признаков, о предельных теоремах и т.п. см. монографии [19, 22]. Полезная информация собрана в [23], хотя эта статья и содержит некоторые неаккуратные (с математической точки зрения) формулировки.

Пример 6.13. Необходимо определить степень согласованности мнения пяти экспертов (m = 5), результаты ранжирования которыми семи объектов (n = 7) приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

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 (т.е. 0,05, 0,01 или 0,1), поскольку все они много больше достигаемого уровня значимости.

Напомним, что достигаемый уровень значимости — это случайная величина, равная вероятности попадания статистики критерия в критическую область, заданную рассчитанным по выборке значением статистики критерия. Для критической области вида $\{x\colon x > a\}$ 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. Достигаемый уровень значимости — это вероятность того, что статистика критерия X в новом независимом эксперименте примет значение большее, чем при расчете по конкретной выборке, т.е. большее, чем X_n [7, прил. 1]. Нормированная и центрированная величина коэффициента конкордации W такова:

$$\frac{W-M(W)}{\sqrt{D(W)}}=\frac{W-\dfrac{1}{m}}{\sqrt{\dfrac{2(m-1)}{m^3(n-1)}}}=\frac{W-\dfrac{1}{5}}{\sqrt{\dfrac{2\times 4}{125\times 6}}}=\frac{W-0{,}2}{0{,}1033}=6{,}78\,.$$

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, т.е.

$$d(A,B)=\frac{D(A,B)}{\max\limits_{A,B} D(A,B)}=\frac{2\sum\limits_{1\le i<j\le k}|a(i,j)-b(i,j)|}{k(k-1)}\,.$$

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 [24]. Они позволяют установить связь между двумя, казалось бы, совсем различными подходами к анализу экспертных мнений, выраженных ранжировками.

Контрольные вопросы и задачи

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, ..., A_9 (табл. 6.5). Найдите в этом множестве медиану для множества из 5 элементов $\{A_2, A_3, A_5, A_6, A_9\}$.

Таблица 6.5

Попарные расстояния между бинарными отношениями

Элементы	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 6.4 из раздела 6.2) 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 западногерманского предприятия и его расходах на рекламу X. Данные представлены в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Расходы на рекламу и торговый оборот предприятия

Переменные	Численные значения							
Годы, t	68	69	70	71	72	73	74	75
Расходы на рекламу $x(t)$, тыс. марок	4	4	5	6	8	8	10	11
Торговый оборот $y(t)$, млн марок	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_j. Данные представлены в табл. 6.7. Определите, существует ли корреляция (т.е. связь) между этими оценками, вычислив коэффициенты корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла.

Таблица 6.7

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

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. 4.4 (глава 4).
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 6.3 показатель различия между множествами $d(A, B) = \mu(A\Delta B)$ удовлетворяет неравенству треугольника.
10. Покажите, что среднее арифметическое коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ρ для $m(m - 1) / 2$ пар признаков, рассчитанное по матрице (6.15), равно $(mW - 1) / (m - 1)$, где W — коэффициент конкордации m признаков.

Литература

1. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

2. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

3. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

4. *Кемени, Дж.* Кибернетическое моделирование: Некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл. — Москва : Советское радио, 1972. — 192 с.

5. Анализ нечисловой информации / Ю.Н. Тюрин, Б.Г. Литвак, А.И. Орлов [и др.]. — Москва : Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981. — 80 с.

6. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях / под редакцией В.Г. Андреенкова, А.И. Орлова, Ю.Н. Толстовой. — Москва : Наука, 1985. — 220 с.

7. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

8. *Литвак, Б.Г.* Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. — Москва : Радио и связь, 1982. — 184 с.

9. *Орлов, А.И.* Асимптотика решений экстремальных статистических задач / А.И. Орлов // Анализ нечисловых данных в системных исследованиях : сборник трудов. Вып. 10. — Москва : Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1982. — С. 4–12.

10. *Сидельников, Ю.В.* Теория и организация экспертного прогнозирования / Ю.В. Сидельников. — Москва : ИМЭМО АН СССР, 1990. — 196 с.

11. *Раушенбах, Г.В.* Меры близости и сходства / Г.В. Раушенбах // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. — Москва : Наука, 1986. — С. 169–203.

12. *Колмогоров, А.Н.* Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. — Москва : Наука, 1972. — 496 с.

13. *Окстоби, Дж.* Мера и категория / Дж. Окстоби. — Москва : Мир, 1974. — 158 с.

14. *Льюс, Р.* Психофизические шкалы / Р. Льюс, Е. Галантер // Психологические измерения. — Москва : Мир, 1967. — С. 111–195.

15. *Орлов, А.И.* Связь между нечеткими и случайными множествами: Нечеткие толерантности / А.И. Орлов // Исследования по вероятностно-статистическому моделированию реальных систем. — Москва : ЦЭМИ АН СССР, 1977. — С. 140–148.

16. *Орлов, А.И.* Метрика подобия: аксиоматическое введение, асимптотическая нормальность / А.И. Орлов, Г.В. Раушенбах // Статистические методы

оценивания и проверки гипотез. Межвузовский сборник научных трудов. — Пермь : Изд-во ПГНИУ, 1986. — С. 148–157.

17. *Жихарев, В.Н.* Законы больших чисел и состоятельность статистических оценок в пространствах произвольной природы / В.Н. Жихарев, А.И. Орлов // Статистические методы оценивания и проверки гипотез : межвузовский сборник научных трудов. — Пермь : Изд-во ПГНИУ, 1998. — С. 65–84.

18. *Крамер, Г.* Математические методы статистики / Г. Крамер. — Москва : Мир, 1975. — 648 с.

19. *Кендэл, М.* Ранговые корреляции / М. Кендэл. — Москва : Статистика, 1975. — 216 с.

20. *Большев, Л.Н.* Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. — Москва : Наука, 1983. — 416 с.

21. *Красильников, В.В.* Статистика объектов нечисловой природы / В.В. Красильников. — Набережные Челны : Изд-во Камского политехнического института, 2001. — 144 с.

22. *Варден, Б.Л. ван дер.* Математическая статистика / Бартель Леендерт Ван дер Варден. — Москва : Изд-во иностранной литературы, 1960.

23. *Ромашкина, Г.Ф.* Коэффициент конкордации в анализе социологических данных / Г.Ф. Ромашкина, Г.Г. Татарова // Социология: методология, методы, математические модели. — 2005. — № 20. — С. 131–158.

24. *Кузьмин, В.Б.* Модель для измерений в порядковых шкалах / В.Б. Кузьмин, С.В. Овчинников // Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. — Москва : Наука, 1974. — С. 384–388.

25. *Орлов, А.И.* Расстояния в пространствах статистических данных / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 101. — С. 227–252.

26. *Жуков, М.С.* Задача исследования итогового ранжирования мнений группы экспертов с помощью медианы Кемени / М.С. Жуков, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 122. — С. 785–806.

ГЛАВА 7. БИНАРНЫЕ ДАННЫЕ И ПАРНЫЕ СРАВНЕНИЯ

Парное сравнение — это сравнение двух объектов экспертизы, когда эксперт выбирает из них лучший. В табл. 7.1 приведены результаты попарных сравнений шести объектов одним экспертом. Результат сравнения i-го и j-го объектов кодируется символом 1, если i-й объект лучше j-го, и символом 0 в противном случае.

На основе парных сравнений можно решить многие задачи анализа экспертных данных. Например, можно упорядочить объекты по рассматриваемому признаку. Для этого достаточно, например, подсчитать, сколько раз определенный объект доминирует над другими, т.е. рассмотреть число единиц в строке. Эти величины приведены в последнем столбце табл. 7.1. Затем упорядочиваем объекты по указанным значениям. Получаем кластеризованную ранжировку:

$$4 < 5 < 6 < \{1, 2\} < 3,$$

отражающую мнение эксперта. Итак, самым хорошим является объект 3, а самым плохим — объект 4.

Таблица 7.1

Ранжирование шести объектов путем попарного сравнения

Номер объекта	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Итог**
1	x	1	0	1	1	1	4
2	0	x	0	1	1	1	4
3	1	1	x	1	1	1	5
4	0	0	0	x	0	0	0
5	0	0	0	1	x	0	1
6	0	0	0	1	1	x	2

В главе 7 рассматриваются различные методы анализа результатов парных сравнений и иных видов бинарных экспертных данных, т.е. данных, принимающих одно из двух значений — 0 или 1.

7.1. Теоретическое обоснование «турнирного» метода ранжирования вариантов

Начнем с недавней работы [1], в которой построена вероятностно-статистическая модель процесса ранжирования вариантов и на ее основе доказана состоятельность оценки кластеризованной ранжировки, полученной «игровым» методом.

В статье [2] предложен оригинальный метод ранжирования вариантов, названный «турнирным». Он напоминает метод построения кластеризованной ранжировки на основе данных табл. 7.1 и подробно описан ниже. Но сразу можно сформулировать естественные вопросы, на которые необходимо получить ответы.

Каковы статистические свойства этого метода? Позволяет ли он выявить истинное упорядочение вариантов? Другими словами, является ли состоятельной оценка упорядочения (ранжировки) вариантов, рассчитываемая с помощью «игрового» метода?

Для ответа на эти вопросы необходимо изучить свойства расчетной процедуры анализа данных. Как известно [3], такое изучение, как правило, состоит из двух этапов:

1. Построение вероятностно-статистической модели порождения данных.

2. Математико-статистическое изучение свойств расчетной процедуры анализа данных.

Пусть рассматривается k вариантов технического решения. В соответствии с описанием процедуры в статье [2] будем считать, что влияние i-го варианта, $i = 1, 2, ..., k$, на изучаемый параметр описывается (числовой) случайной величиной X_i с функцией распределения $F_i(x)$. Таким образом, сравнение двух вариантов — это сравнение функций распределения. Такое сравнение можно проводить разными способами — по тем или иным характеристикам (математическим ожиданиям, медианам, дисперсиям, квантилям порядка 0,999999, коэффициентам вариации и др.) или непосредственно с целью обнаружения различия между функциями распределения. Выбор того или иного вероятностно-статистического способа сравнения зависит от решаемой задачи. На примере оценки рисков (аварий, загрязнения окружающей среды, дефектности и др.) в [3] продемонстрирован подобный выбор.

Согласно [2] сравнивать надо математические ожидания. Лучше тот вариант, у которого математическое ожидание больше. Тогда результаты сравнения k вариантов технического решения описываются кластеризованной ранжировкой. Другими словами, варианты разбиты на группы. В каждой группе математические ожидания совпадают. Между группами — различаются. Группы упорядочены в порядке возрастания математических ожиданий. Теоретическую кластеризованную ранжировку, соответствующую математическим ожиданиям, необходимо оценить по эмпирическим данным.

Поскольку функции распределения и их математические ожидания при сравнении конкретных вариантов технического решения неизвестны, то сравнения приходится проводить на основе выборок. Принимаем, что влияние i-го варианта, $i = 1, 2, ..., k$, на изучаемый параметр оценивается с помощью выборки объема n_i, т.е. набора реализаций n_i независимых случайных величин с общей функцией распределения $F_i(x)$. Выборки предполагаются независимыми. Могут использоваться как экспертные оценки, так и объективные результаты измерения. Итак, вероятностно-статистическая модель порождения данных описана.

В соответствии с «турнирным» методом ранжирования сравнение двух вариантов состоит в статистической проверке нулевой гипотезы о равенстве соответствующих математических ожиданий. Если нулевая гипотеза принимается, то каждому варианту присваивается по 0,5 очка. Если нулевая гипотеза отклоняется, то варианту с большим выборочным средним арифметическим присваивается 1 очко, а с меньшим — 0 очков. Проводятся все $k(k-1)/2$ парных сравнений, полученные очки суммируются, варианты упорядочиваются в порядке возрастания набранных сумм. Получаем эмпирическую кластеризованную ранжировку.

В соответствии с рекомендациями [3, 4] для проверки равенства математических ожиданий в работе [2] применяется критерий Крамера — Уэлча. Граничное значение для модуля статистики принято равным 1,645, что соответствует уровню значимости 0,1 (точнее, асимптотическому уровню значимости при безграничном росте объемов выборок). При решении задачи выбора конструкции коллектора для трибоэлектрического генератора в [2] получена следующая эмпирическая кластеризованная ранжировка типов коллекторов:

{игольчатый} < {кисточкообразный; ленточный с изгибом} <
< {штыковой} < {пилообразный; Г-образный}.

Качество вариантов убывает при движении справа налево. Самыми лучшими являются такие варианты, как «пилообразный» и «Г-образный». (Причем по данным [2] эти варианты надо считать эквивалентными, они образуют кластер.) Хуже по качеству «штыковой» коллектор, и т.д.

Эмпирическая кластеризованная ранжировка используется как оценка теоретической. Каковы математико-статистические свойства этой оценки? Поскольку кластеризованная ранжировка — это объект нечисловой природы, то для изучения свойств процедуры, предложенной в статье [2], необходимо применить подходы и результаты статистики объектов нечисловой природы [3, 4].

Теорема 7.1. При безграничном росте объемов выборок (т.е. при $\min\{n_i,\ i=1,2,\dots,k\}\to\infty$) и фиксированном числе k вариантов вероятность того, что эмпирическая кластеризованная ранжировка совпадает с теоретической, стремится к 1.

В соответствии с теоремой 7.1 предложенная в работе [2] оценка теоретической кластеризованной ранжировки является состоятельной. Доказательство теоремы 7.1 проводится методами, разработанными в главе 8 монографии [3].

Как измерить степень близости эмпирической и теоретической кластеризованных ранжировок? В соответствии с известным в статистике объектов нечисловой природы аксиоматическим подходом целесообразно использовать расстояние Кемени, или, что эквивалентно, коэффициент ранговой корреляции Кендалла (см. конец предыдущей главы). Справедливы следующие теоремы.

Теорема 7.2. При справедливости условий теоремы 7.1 расстояние Кемени между эмпирической кластеризованной ранжировкой и теоретической стремится к 0.

Теорема 7.3. При справедливости условий теоремы 7.1 коэффициент ранговой корреляции Кендалла между эмпирической кластеризованной ранжировкой и теоретической стремится к 1.

Доказательства теорем 7.2 и 7.3 проводятся методами, развитыми в [3, 4]. Таким образом, с точки зрения асимптотической математической статистики предложенный в работе [2] «турнирный» метод ранжирования вариантов получил обоснование. Что же касается конечных объемов выборок, особенно столь малых, как в [2], где все $n_i = 3$, то необходимы дальнейшие исследования, прежде всего методом статистических испытаний. Различные методы оценки близости допредельных и предельных распределений статистик проанализированы в статье [5]. Приходится констатировать, что простые рекомендации отсутствуют.

7.2. Теория случайных толерантностей

В прикладных исследованиях обычно используют три конкретных вида бинарных отношений — ранжировки, разбиения и толерантности. Статистические теории ранжировок [6] и разбиений [7] достаточно сложны с математической точки зрения. Поэтому продвинуться удается не очень далеко. Теория случайных ранжировок, в частности, изучает в основном равномерные распределения на множестве ранжировок. Теория случайных толерантностей позволяет рассмотреть принципиально более общие ситуации. Это объясняется, грубо говоря, тем, что для теории толерантностей оказываются полезными суммы некоторых независимых случайных величин, а для теории ранжировок и разбиений аналогичные случайные величины зависимы, а потому изучение их сумм затруднено. Теория случайных толерантностей является частным случаем теории люсианов, рассматриваемой в разделе 7.4. Здесь приводим результаты, специфичные именно для толерантностей.

Пусть X — конечное множество из k элементов. Толерантность A на множестве X, как и любое бинарное отношение, однозначно описывается матрицей $\|a(i, j)\|$, $1 \le i, j \le k$, где $a(i, j) = 1$, если элементы с номерами i и j связаны отношением толерантности, и $a(i, j) = 0$ в противном случае. Поскольку толерантность – это рефлексивное и симметричное бинарное отношение, то достаточно рассматривать часть матрицы, лежащую над главной диагональю: $\|a(i, j), 1 \le i < j \le k\|$. Между наборами $\|a(i, j), 1 \le i < j \le k\|$ из 0 и 1 и толерантностями на X имеется взаимнооднозначное соответствие.

Пусть $A = A(\omega)$ — случайная толерантность, равномерно распределенная на множестве всех толерантностей на X. Легко видеть, что в этом случае $a(i, j)$, $1 \le i < j \le k$, — независимые случайные величины, принимающие значения 0 и 1 с вероятностями 0,5. Этот факт, несмотря на свою математическую тривиальность, является решающим для построения базовой части теории толерантностей. Для аналогичных постановок в теории ранжировок и разбиений величины $a(i, j)$ оказываются зависимыми.

Следовательно, случайная величина:

$$B(A) = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} a(i, j)$$

имеет биномиальное распределение с параметрами $k(k - 1) / 2$, S и асимптотически нормальна при $k \to \infty$.

Проверка гипотез о согласованности. Рассмотрим s независимых толерантностей $A_1, A_2, \ldots, A_s$, равномерно распределенных на множестве всех толерантностей на X. Рассмотрим вектор:

$$\xi_{ks} = \{d(A_p, A_q), 1 \le p < q \le s\} = \sum_{1 \le p < q \le k} \{| a_p(i, j) - a_q(i, j) |, 1 \le p < q \le s\}, \tag{7.1}$$

где $d(A_p, A_q)$ — расстояние между толерантностями A_p и A_q, аксиоматически введенное в главе 6. В (7.1) предполагается, что пары (p, q), $p < q$, располагаются в раз навсегда установленном порядке, для определенности в лексиграфическом (т.е. пары упорядочиваются в соответствии со значением p, а при одинаковых p — по значению q).

Вектор ξ_{ks} является суммой $k(k - 1) / 2$ независимых одинаково распределенных случайных векторов, а потому асимптотически нормален при $k \to \infty$. Координаты этого вектора независимы, поскольку, как нетрудно видеть, координаты каждого слагаемого независимы (это свойство не сохраняется при отклонении от равномерности распределения). Распределения случайных величин $a_p(i, j)$ и $|a_p(i, j) - a_q(i, j)|$ совпадают, поэтому распределения $B(A)$ и $d(A_p, A_q)$ также совпадают.

В силу многомерной центральной предельной теоремы распределение вектора:

$$\eta_{ks} = \sqrt{\frac{2}{k(k-1)}}\left(\xi_{rs} - \frac{k(k-1)}{2}\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, ..., \frac{1}{2}\right)\right)$$

сходится при $k \to \infty$ к распределению многомерного нормального вектора η_s, ковариационная матрица которого совпадает с ковариационной матрицей вектора η_{ks}, а математическое ожидание равно 0. Таким образом, координаты случайного вектора η_s независимы и имеют стандартное нормальное распределение с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. В соответствии с теоремами о наследовании сходимости [4, раздел 4.3] распределение $f(\eta_{ks})$ сходится при $k \to \infty$ к распределению $f(\eta_s)$ для достаточно широкого класса функций f, в частности, для всех непрерывных функций. В качестве примеров рассмотрим статистики:

$$W = \sum_{1 \le p < q \le s} d(A_p, A_q), \quad N = \sum_{1 \le p < q \le s} \left(d(A_p, A_q) - \frac{k(k-1)}{4}\right)^2.$$

При $k \to \infty$ распределения случайных величин:

$$\frac{8W - s(s-1)k(k-1)}{2\sqrt{s(s-1)k(k-1)}}, \quad \frac{8N}{k(k-1)}$$

сходятся соответственно к стандартному нормальному распределению с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 и распределению хи-квадрат с $s(s - 1) / 2$ степенями свободы. Статистики W и N могут быть использованы для проверки гипотезы о равномерности распределения толерантностей.

Как известно, в теории ранговой корреляции, т.е. в теории случайных ранжировок, в качестве единой выборочной меры связи нескольких признаков используется коэффициент согласованности $W = W(R)$, называемый также коэффициентом конкордации (см. раздел 6.5). Его распределение затабулировано [8, табл. 6.10] в предположении равномерности распределения на пространстве ранжировок (без связей). Непосредственным аналогом коэффициента конкордации $W(R)$ в случае толерантностей является только что введенная статистика W. Статистики W и N играют ту же роль для толерантностей, что $W(R)$ для ранжировок, однако математико-статистическая теория в случае толерантностей гораздо проще, чем для ранжировок.

Обобщением равномерно распределенных толерантностей являются толерантности с независимыми связями. В этой постановке предполагается, что $a(i, j)$, $1 \le i < j \le k$, — независимые случайные величины, принимающие значения 0 и 1. Обозначим $P(a(i, j) = 1) = p(i, j)$. Тогда $P(a(i, j) = 0) = 1 - p(i, j)$. Таким образом, распределение толерантности с независимыми связями задается нечеткой толерантностью, т.е. вектором:

$$P = \{p(i, j), 1 \le i < j \le k\}.$$

Нечеткая толерантность — частный случай нечеткого множества. В свою очередь, нечеткие множества — один из видов объектов нечисловой природы, рассматриваемых в статистике нечисловых данных [3, 4].

Пусть имеется s независимых случайных толерантностей $A_1, A_2, ..., A_s$ с независимыми связями, распределения которых задаются векторами $P_1, P_2, ..., P_s$ соответственно. Рассмотрим проверку гипотезы согласованности:

$$H_0: P_1 = P_2 = ... = P_s.$$

Она является более слабой, чем гипотеза равномерности:

$$H_0': P_1 = P_2 = ... = P_s = (1 / 2, 1 / 2, ..., 1 / 2),$$

для проверки которой используют статистики W и N (см. выше).

Пусть сначала $s = 2$. Тогда

$$P\{|a_1(i, j) - a_2(i, j)| = 1\} = q(i, j), P\{|a_1(i, j) - a_2(i, j)| = 0\} = 1 - q(i, j),$$

где

$$q(i, j) = p_1(i, j)\,(1 - p_2(i, j)) + p_2(i, j)\,(1 - p_1(i, j)).$$

Следовательно, расстояние $d(A_1, A_2)$ между двумя случайными толерантностями с независимыми связями есть сумма $k(k-1) / 2$ независимых случайных величин, принимающих значения 0 и 1, причем математическое ожидание и дисперсия $d(A_1, A_2)$ таковы:

$$Md(A_1,A_2) = \sum_{1 \le i < j \le k} q(i,j), \quad Dd(A_1,A_2) = \sum_{1 \le i < j \le k} q(i,j)(1-q(i,j)) . \tag{7.2}$$

Пусть $k \to \infty$. Если $Dd(A_1, A_2) \to \infty$, то условие Линденберга Центральной Предельной Теоремы теории вероятностей выполнено, и распределение нормированного расстояния:

$$\frac{d(A_1,A_2) - Md(A_1,A_2)}{\sqrt{Dd(A_1,A_2)}} \tag{7.3}$$

сходится к стандартному нормальному распределению с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Если существует число $\delta > 0$ такое, что при всех k, i, j, $1 \le i < j \le k$, вероятности $p_1(i, j)$ и $p_2(i, j)$ лежат внутри интервала $(\delta; 1-\delta)$, то $Dd(A_1, A_2) \to \infty$.

Соотношения (7.2), (7.3) и им подобные позволяют рассчитать мощность критериев, основанных на статистиках W и N, при $k \to \infty$, подобно тому, как это сделано в [9, раздел 4.5]. Поскольку подобные расчеты не требуют новых идей, не будем приводить их здесь.

Обычно P_1 и P_2 неизвестны. Для проверки гипотезы $P_1 = P_2$ в некоторых случаях можно порекомендовать отвергать гипотезу на уровне значимости α, если $d(A_1, A_2) \ge d_0$, где d_0 есть $(1-\alpha)$ — квантиль распределения расстояния между двумя независимыми равномерно распределенными случайными толерантностями, т.е. квантиль биномиального распределения $B(A)$. Укажем достаточные условия такой рекомендации.

Пусть

$$p = (p_1(i, j) + p_2(i, j))/2, \quad p_1(i, j) = p + \Delta,$$

тогда

$$p_2(i, j) = p - \Delta,\ q = q(i, j) = 2p(1-p) + 2\Delta^2. \tag{7.4}$$

Если существует число $\delta > 0$ такое, что

$$q - 1/2 > \delta > 0 \tag{7.5}$$

при всех k, i, j, то гипотеза $P_1 = P_2$ будет отвергаться с вероятностью, стремящейся к 1 при $k \to \infty$. Из (7.4) следует, что при фиксированном p существует Δ такое, что выполнено (7.5), тогда и только тогда, когда $0{,}25 < p < 0{,}75$.

Своеобразие постановки задачи проверки гипотезы состоит в том, что при росте k число неизвестных параметров, т.е. координат векторов P_i, растет пропорционально объему данных. Поэтому и столь далекая от оптимальности процедура, как описанная в двух предыдущих абзацах, представляет некоторый практический интерес. Для случая $s \geq 4$ в теории люсианов (раздел 7.4) разработаны методы проверки гипотезы согласованности H_0: $P_1 = P_2 = ... = P_s$.

Нахождение группового мнения. Пусть $A_1, A_2, ..., A_s$ — случайные толерантности, описывающие мнения s экспертов. Для нахождения группового мнения будем использовать медиану Кемени, т.е. эмпирическое среднее относительно расстояния Кемени, введенного в главе 6. Медианой Кемени является:

$$A_{cp} = Arg\min_{A} \sum_{p=1}^{s} d(A_p, A).$$

Легко видеть, что $A_{cp} = ||a_{cp}(i, j)||$ удовлетворяет условию: $a_{cp}(i, j) = 1$, если

$$\sum_{p=1}^{s} a_p(i, j) > \frac{s}{2},$$

и $a_{cp}(i, j) = 0$, если

$$\sum_{p=1}^{s} a_p(i, j) < \frac{s}{2}.$$

Следовательно, при нечетном s групповое мнение A_{cp} определяется однозначно. При четном s неоднозначность возникает в случае:

$$\sum_{p=1}^{s} a_p(i, j) = \frac{s}{2}.$$

Тогда медиана Кемени A_{cp} — не одна толерантность, а множество толерантностей, минимум суммы расстояний достигается и при $a_{cp}(i, j) = 1$, и при $a_{cp}(i, j) = 0$.

Асимптотическое поведение группового мнения (медианы Кемени для толерантностей) вытекает из общих результатов о законах больших чисел в пространствах произвольной природы [3, 4], поэтому рассматривать его здесь нет необходимости.

Дихотомические (бинарные) признаки в классической асимптотике. Многое в предыдущем изложении определялось спецификой толерантностей. В частности, особая роль равномерности распределения на множестве всех толерантностей оправдывала специальное рассмотрение статистик W и N; аксиоматически введенное расстояние d между толерантностями играло важную роль в приведенных выше результатах. Однако модель толерантностей с независимыми связями уже меньше связана со спецификой толерантностей. В ней толерантности можно рассматривать просто как частный случай таких популярных объектов нечисловой природы, как люсианы. Широко применяется следующая модель порождения данных.

Пусть $A_1, A_2, ..., A_s$ — независимые *люсианы*. Это значит, что статистические данные имеют вид:

$$(A_1, A_2, ..., A_s) = ||X_{ij},\ i = 1, 2, ..., s;\ j = 1, 2, ..., k||, \tag{7.6}$$

где X_{ij} — независимые в совокупности испытания Бернулли с вероятностями успеха:

$$(P_1, P_2, ..., P_s) = ||p_{ij},\ i = 1, 2, ..., s;\ j = 1, 2, ..., k||, \tag{7.7}$$

где P_i — вектор вероятностей, описывающий распределение люсиана A_i. Особое значение имеют одинаково распределенные люсианы, для которых $P_1 = P_2 = ... =$ $= P_s = P$, где символом P обозначен общий вектор вероятностей.

Как обычно в математической статистике, содержательные результаты при изучении модели (7.6)–(7.7) можно получить в асимптотических постановках. При этом есть два принципиально разных предельных перехода: $s \to \infty$ и $k \to \infty$. Первый из них — традиционный: число неизвестных параметров постоянно, объем выборки s растет. Во втором число параметров растет, объем выборки остается постоянным, но общий объем данных ks растет пропорционально числу неизвестных параметров. Аналогом является асимптотическое изучение коэффициентов ранговой корреляции Кендалла и Спирмена: число ранжировок, т.е. объем выборки, постоянно (и равно 2), а число ранжируемых объектов растет.

Вторая постановка изучается в разделе 7.4, посвященном люсианам. Некоторые задачи в первой постановке рассмотрим здесь.

Случайные толерантности используются, в частности, для оценки нечетких толерантностей [9]. Для описания результатов опроса группы экспертов о сходстве объектов строят нечеткую толерантность $M = ||\mu_{ij}||$, $\mu_{ij} = l_{ij} / n_{ij}$, где n_{ij} — число ответов о сходстве i-го и j-го объектов, а l_{ij} — число положительных ответов из них. Если эксперты действуют в соответствии с единым вектором параметров P, то M — состоятельная оценка для P. Следующий вопрос при таком подходе — верно ли, что две группы экспертов «думают одинаково», т.е. используют совпадающие вектора P? Рассмотрим эту постановку на более общем языке люсианов.

Пусть $A_1, A_2, ..., A_m$ и $B_1, B_2, ..., B_n$ — две группы независимых в совокупности люсианов, одинаково распределенные в каждой группе с параметрами $P(A)$ и $P(B)$ соответственно. Требуется проверить гипотезу $P(A) = P(B)$. Естественным является переход к пределу при $\min(m, n) \to \infty$.

Пусть гипотеза справедлива. Предположим, что $p_i = p_i(A) = p_i(B) \neq 0$ при всех $i = 1, 2, ..., k$. (Разбор последствий нарушений этого условия оставляем читателю.) Пусть s_i — число единиц на i-м месте в первой группе люсианов, а t_i — во второй. Рассмотрим случайные величины:

$$\xi_i = \sqrt{\frac{mn}{m+n}}\left(\frac{s_i}{m} - \frac{t_i}{n}\right)\frac{1}{\sqrt{p_i(1-p_i)}}. \tag{7.8}$$

Они независимы в совокупности. В соответствии с предельными теоремами [4, глава 4] распределения случайных величин ξ_i при $\min(m, n) \to \infty$ сходятся к стандартному нормальному распределению с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Эти свойства сохраняются при замене p_i в (7.8) на состоятельные оценки, построенные по статистическим данным, соответствующим i-му месту. Будем использовать эффективную оценку [10, с. 529]:

$$p_i^* = \frac{s_i + t_i}{m+n}. \tag{7.9}$$

Подставим (7.9) в (7.8), получим статистики:

$$\xi_i^* = \sqrt{\frac{mn(m+n)}{(s_i+t_i)(m+n-s_i-t_i)}}\left(\frac{s_i}{m} - \frac{t_i}{n}\right).$$

Полученные статистики можно использовать для проверки рассматриваемой гипотезы, например, с помощью критериев, основанных на статистиках:

$$W = \frac{1}{\sqrt{k}}\sum_{i=1}^{k} a_i \xi_i^*, \quad T = \sum_{i=1}^{k}(\xi_i^*)^2, \quad \sum_{i=1}^{k} a_i^2 = 1.$$

С помощью результатов [4, глава 4] получаем, что W имеет в пределе при $\min(m, n) \to \infty$ стандартное нормальное распределение, а T — распределение хи-квадрат с k степенями свободы.

Рассмотрим распределение статистики W при альтернативных гипотезах. Положим:

$$\eta_{1m}^i = \frac{\sqrt{m}\left(\frac{s_i}{m} - p_i(A)\right)}{\sqrt{p_i(A)(1-p_i(A))}}, \quad \eta_{2n}^i = \frac{\sqrt{n}\left(\frac{t_i}{n} - p_i(B)\right)}{\sqrt{p_i(B)(1-p_i(B))}}.$$

Эти случайные величины независимы, распределение каждой из них при $\min(m, n) \to \infty$ сходится к стандартному нормальному распределению. Поскольку

$$\frac{s_i}{m} = \frac{\eta_{1m}^i}{\sqrt{m}}\sqrt{p_i(A)(1-p_i(A))} + p_i(A), \quad \frac{t_i}{n} = \frac{\eta_{2n}^i}{\sqrt{n}}\sqrt{p_i(B)(1-p_i(B))} + p_i(B),$$

то

$$\sqrt{\frac{mn}{m+n}}\left(\frac{s_i}{m} - \frac{t_i}{n}\right) = F + G,$$

где

$$F = \sqrt{\frac{mn}{m+n}}\left(\frac{\eta_{1m}^i}{\sqrt{m}}\sqrt{p_i(A)(1-p_i(A))} - \frac{\eta_{2n}^i}{\sqrt{n}}\sqrt{p_i(B)(1-p_i(B))}\right)$$

и

$$G = \sqrt{\frac{mn}{m+n}}\left(p_i(A) - p_i(B)\right).$$

В силу результатов [4, глава 4] распределение F при $\min(m, n) \to \infty$ сближается с нормальным распределением, математическое ожидание которого равно 0, а дисперсия есть

$$\frac{n}{m+n}p_i(A)(1-p_i(A)) + \frac{m}{m+n}p_i(B)(1-p_i(B)) \le \frac{1}{4}.$$

Поэтому, чтобы получить собственное (т.е. невырожденное) распределение W при альтернативах, естественно рассмотреть модель:

$$p_i(A) = p_i + \frac{\theta_i}{2}\sqrt{\frac{m+n}{mn}}\sqrt{p_i(1-p_i)},\ \ p_i(B) = p_i - \frac{\theta_i}{2}\sqrt{\frac{m+n}{mn}}\sqrt{p_i(1-p_i)},\ \ i = 1,2,...,k\ ,$$

где θ_i — некоторые фиксированные числа. Тогда при $\min(m, n) \to \infty$ оценки p_i^* из (9) сходятся к p_i и ξ_i^* являются независимыми асимптотически нормальными случайными величинами с математическими ожиданиями θ_i и единичными дисперсиями. Опираясь на результаты [4, глава 4], заключаем, что распределение статистики W сходится к нормальному распределению с математическим ожиданием:

$$\theta_0 = \frac{1}{\sqrt{k}}\sum_{i=1}^{k} a_i\theta_i$$

и единичной дисперсией.

Если в последней формуле $\theta_0 = 0$, то асимптотическое распределение W таково же, как и в случае справедливости нулевой гипотезы. От указанного недостатка свободна статистика T. Тем же путем, как и для W, получаем, что при $\min(m, n) \to \infty$ распределение T сходится к нецентральному хи-квадрат распределению с k степенями свободы и параметром нецентральности:

$$\Theta = \sum_{i=1}^{k} \theta_i^2\ .$$

Можно рассматривать ряд других задач, например, проверку совпадения параметров для нескольких групп люсианов (аналог дисперсионного анализа), установление зависимости $P(B)$ от $P(A)$ (аналог регрессионного анализа), отнесение вновь поступающего люсиана к одной из групп (речь идет о задаче диагностики — аналоге дискриминантного анализа; она представляет интерес, например, при применении тестов типа MMPI оценки психического состояния личности) и т.д. Однако принципиальных трудностей на пути развития соответствующих методов не видно, и мы не будем их здесь рассматривать. Создание соответствующих алгоритмов проводится специалистами по прикладной статистике в соответствии с непосредственными заказами пользователей.

7.3. Метод проверки гипотез по совокупности малых выборок

Одна из областей применения экспертных оценок связана с контролем качества продукции [22]. Для многих видов пищевой продукции наиболее надежные методы контроля — органолептические, т.е. основанные на использовании органов чувств человека. Примером является дегустация чая или кофе.

Обсудим статистический приемочный контроль, в котором по результатам испытаний элементов выборки делается вывод о качестве партии продукции [3, гл. 13]. В простейшем варианте проводится контроль по альтернативному признаку, при котором возможны лишь два результата контроля конкретной единицы продукции — «соответствует требованиям» или «не соответствует требованиям», короче — «да» или «нет».

Рассмотрим статистический приемочный контроль по двум альтернативным признакам одновременно. В терминах теории люсианов обсудим проблему проверки независимости двух альтернативных признаков. Ее приходится проводить по совокупности малых выборок, т.е. в так называемой асимптотике А.Н. Колмогорова, когда число неизвестных параметров распределения не является постоянным, а растет пропорционально объему данных.

Испытания по двум альтернативным признакам. При статистическом контроле качества продукции, в частности, при сертификации, чаще всего используют контроль по альтернативным признакам. При этом устанавливается, соответствует ли контролируемый параметр единицы продукции (изделия, детали) заданным в нормативно-технической документации требованиям или не соответствует. Если соответствует — единица продукции признается годной. Примем для определенности, что в этом случае результат контроля кодируется символом 0. Если же не соответствует — единица продукции признается дефектной, а результат контроля кодируется символом 1.

Таким образом, в рассматриваемой здесь математической модели контроля альтернативный признак — это функция $X = X(w)$, определенная на множестве единиц продукции $W = \{w\}$ и принимающая два значения 0 и 1. Причем $X(w) = 0$ означает, что единица продукции w является годной, а $X(w) = 1$ — что она является дефектной.

Методы статистического контроля, в частности, включенные в государственные стандарты и иную нормативно-техническую документацию (НТД), как правило, используют контроль по одному признаку. В НТД указывают правила выбора планов контроля и расчета различных их характеристик, приводят графики оперативных характеристик и т.п.

Однако на производстве контроль нередко проводится по нескольким альтернативным признакам. Возникает проблема выбора плана контроля и расчета его характеристик.

Рассмотрим сначала контроль по двум альтернативным признакам $X(w)$ и $Y(w)$. В вероятностной модели $X(w)$ и $Y(w)$ — случайные величины, принимающие два значения — 0 и 1. Пусть, пользуясь стандартной (для статистических методов управления качеством) терминологией,

$$p_1 = P(X(w) = 1)$$

— входной уровень дефектности для первого признака, а

$$p_2 = P(Y(w) = 1)$$

— для второго. Вероятности результатов контроля по двум признакам одновременно описываются четырьмя числами:

$$P(X(w) = 0,\ Y(w) = 0) = p_{00},\ P(X(w) = 1,\ Y(w) = 0) = p_{10},$$
$$P(X(w) = 0,\ Y(w) = 1) = p_{01},\ \ P(X(w) = 1,\ Y(w) = 1) = p_{11}.$$

При этом справедливы соотношения:

$$p_{00} + p_{10} + p_{01} + p_{11} = 1, p_{10} + p_{11} = p_1,\ p_{01} + p_{11} = p_2.$$

С прикладной точки зрения наиболее интересна вероятность p_{00} того, что единица продукции является годной (по всем параметрам), и вероятность ее дефектности $(1 - p_{00})$, т.е. входной уровень дефектности для изделия в целом.

В табл. 7.2 сведены вместе введенные выше вероятности.

Таблица 7.2

Вероятности результаты испытаний при контроле по двум альтернативным признакам

Значения признаков	$X = 0$	$X = 1$	**Всего**
$Y = 0$	p_{00}	p_{10}	$1 - p_2$
$Y = 1$	p_{01}	p_{11}	p_2
Всего	$1 - p_1$	p_1	1

Есть три важных частных случая — поглощения, несовместности и независимости дефектов. Другими словами, поглощения, несовместности и независимости событий $\{w: X(w) = 1\}$ и $\{w: Y(w) = 1\}$. В случае поглощения одно из этих событий содержит другое, а потому

$$p_{00} = 1 - \max(p_1, p_2).$$

В случае несовместности:

$$p_{00} = 1 - p_1 - p_2.$$

В случае независимости:

$$p_{00} = (1 - p_1)(1 - p_2) = 1 - p_1 - p_2 + p_1 p_2.$$

Очевидно, что вероятность годности изделия всегда заключена между значениями, соответствующими случаям поглощения и несовместности. Кроме того, известно, что при большом числе признаков и малой вероятности дефектности по каждому из них случаи поглощения и независимости дают (в асимптотике) крайние значения для вероятности годности изделия, т.е. формулы, соответствующие независимости и несовместности, асимптотически совпадают. Причина этого явления состоит в том, что при малости p_1 и p_2 их произведение $p_1 p_2$ является бесконечно малой более высокого порядка по сравнения с p_1 и p_2.

Рассмотрим несколько примеров. Пусть некоторая продукция, скажем, гвозди, контролируются по двум альтернативным признакам, для определенности, по весу и длине. Пусть результаты контроля 1 000 единиц продукции представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Результаты 1 000 испытаний по двум альтернативным признакам (случай поглощения)

Значения признаков	**$X = 0$**	**$X = 1$**	**Всего**
$У = 0$	952	0	952
$У = 1$	0	48	48
Всего	952	48	1 000

Судя по данным табл. 7.3, дефекты всегда встречаются парами — если есть один, то есть и другой. Входной уровень дефектности как по каждому показателю, так и по обоим вместе — один и тот же, а именно, 0,048. Получив по результатам статистического наблюдения данные типа приведенных в табл. 7.3, целесообразно перейти к контролю только одного показателя, а не двух. Каково именно? Видимо, того, контроль которого дешевле.

Совсем иная ситуация в случае несовместности дефектов (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Результаты 1 000 испытаний по двум альтернативным признакам (случай несовместности)

Значения признаков	$X = 0$	$X = 1$	**Всего**
$У = 0$	904	48	952
$У = 1$	48	0	48
Всего	952	48	1 000

Судя по данным табл. 7.4, дефекты всегда встречаются поодиночке — если есть один, то другого нет. В результате входной уровень дефектности по каждому признаку по-прежнему равен 0,048, в то время как доля дефектных изделий (т.е. имеющих хотя бы один дефект) вдвое выше, т.е. входной уровень дефектности для изделия в целом равен 0,096.

Случай независимости результатов контроля по двум независимым признакам (табл. 7.5) лежит между крайними случаями поглощения и несовместности. Независимость альтернативных признаков обосновывается путем статистической проверки с помощью описанного ниже критерия $n^{1/2}V$.

Таблица 7.5

Результаты 1 000 испытаний по двум альтернативным признакам (случай независимости)

Значения признаков	$X = 0$	$X = 1$	**Всего**
$У = 0$	909	43	952
$У = 1$	43	5	48
Всего	952	48	1 000

Согласно данным табл. 7.5, входной уровень дефектности для каждого из двух альтернативных признаков по-прежнему равен 0,048, в то время как для изделий в целом он равен 0,091, т.е. на 5,2 % меньше, чем в случае несовместности, и на 89,6 % больше, чем в случае поглощения.

Проблема состоит в том, что таблицы и стандарты по статистическому приемочному контролю относятся обычно к случаю одного контролируемого параметра. А как быть, если контролируемых параметров несколько? Приведенные выше примеры показывают, что входной уровень дефектности изделия в целом не определяется однозначно по входным уровням дефектности отдельных его параметров.

Гипотеза независимости. Как должны соотноситься характеристики планов контроля по отдельным признакам с характеристиками плана контроля по двум (или многим) признакам одновременно? Рассмотрим распространенную рекомендацию — складывать уровни дефектности, т.е. считать, что уровень дефектности изделия в целом равен сумме уровней дефектности по отдельным его параметрам. Она, очевидно, опирается на гипотезу несовместности дефектов, а потому во многих случаях преувеличивает дефектность, следовательно, ведет к использованию излишне жестких планов контроля, что экономически невыгодно.

Зная специфику применяемых технологических процессов, в ряде конкретных случаев можно предположить, что дефекты по различным признакам возникают независимо друг от друга. Это предположение необходимо обосновывать по статистическим данным. Если же оно обосновано, следует рассчитывать входной уровень дефектности по формуле:

$$1 - p_{00} = p_1 + p_2 - p_1 p_2,$$

соответствующей независимости признаков.

Итак, необходимо уметь проверять по статистическим данным гипотезу независимости двух альтернативных признаков. Речь идет о статистической проверке нулевой гипотезы:

$$H_0 \,/\, p_{11} = p_1\, p_2 \tag{7.10}$$

(что эквивалентно проверке равенства $p_{00} = (1 - p_1)(1 - p_2)$). Нетрудно проверить, что гипотеза о справедливости равенства (7.10) эквивалентна гипотезе:

$$H_0 \,/\, p_{00}\, p_{11} - p_{10}\, p_{01} = 0. \tag{7.11}$$

В простейшем случае предполагается, что проведено n независимых испытаний (X_i, Y_i), $i = 1, 2, ..., n$, в каждом из которых проконтролированы два альтернативных признака, а вероятности результатов контроля не меняются от испытания к испытанию. Общий вид статистических данных приведен в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Общий вид результатов контроля
по двум альтернативным признакам

Значения признаков	$X = 0$	$X = 1$	**Всего**
$У = 0$	a	b	$a + b$
$У = 1$	c	d	$c + d$
Всего	$a + c$	$b + d$	n

В табл. 7.6 величина a — число испытаний, в которых $(X_i, Y_i) = (0, 0)$, величина b — число испытаний, в которых $(X_i, Y_i) = (1, 0)$, и т.д.

Случайный вектор (a, b, c, d) имеет мультиномиальное распределение с числом испытаний n и вектором вероятностей исходов $(p_{00}, p_{10}, p_{01}, p_{11})$. Состоятельными оценками этих вероятностей являются дроби a/n, b/n, c/n, d/n соответственно. Следовательно, критерий проверки гипотезы (2) может быть основан на статистике:

$$Z = ad - bc. \tag{7.12}$$

Как вытекает из известной формулы для ковариаций мультиномиального вектора (см., например, формулу (6.3.5) в учебнике С. Уилкса [11] на с. 153),

$$M(Z) = n\,(p_{10}\,p_{01} - p_{00}\,p_{11}), \tag{7.13}$$

что равно 0 при справедливости гипотезы независимости (7.11).

Связь между переменными X и Y обычно измеряется коэффициентом, отличающимся от Z нормирующим множителем:

$$V = (ad - bc)\{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)\}^{-1/2}$$

(см. классическую монографию М. Дж. Кендалла и А. Стьюарта [12, с. 723]). При справедливости гипотезы H_0 и больших n случайная величина nV^2 имеет хи-квадрат распределение с одной степенью свободы, а $n^{1/2}V$ имеет стандартное нормальное распределение с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 (см. [12, с. 736]). Значение $n^{1/2}V$ для данных табл. 7.5 равно 1,866, т.е. на уровне значимости 0,05 гипотезу независимости следует принять.

Рассмотрим еще один пример. Пусть проведено 100 испытаний, результаты которых описаны в табл. 7.7. Тогда

$$V = (50 \times 20 - 10 \times 20)\,(60 \times 70 \times 30 \times 40)^{-1/2} =$$
$$= (1000 - 200) \times 5940000^{-1/2} = 800 / 2245 = 0{,}35635,$$
$$n^{1/2}V = 3{,}5635.$$

Таблица 7.7

Результаты 100 испытаний по двум альтернативным признакам

Значения признаков	**$X = 0$**	**$X = 1$**	**Всего**
$У = 0$	50	10	60
$У = 1$	20	20	40
Всего	70	30	100

Поскольку полученное значение $n^{1/2}V$ превышает критическое значение при любом применяемом в статистике уровне значимости, то гипотезу о независимости признаков необходимо отклонить.

Проверка гипотез по совокупности малых выборок. К сожалению, приведенный простой метод годится не всегда. При статистическом анализе реальных данных возникают проблемы, связанные с отсутствием достаточно больших однородных выборок, т.е. выборок, в которых постоянны параметры вероятностных распределений. Реально единицы продукции представляются на контроль партиями, из каждой партии контролируются лишь несколько изделий, т.е. малая выборка. При этом от партии к партии меняются параметры p_{00}, p_{10}, p_{01}, p_{11}, описывающие уровень дефектности. Поэтому необходимы статистические методы, позволяющие проверять гипотезу независимости признаков по совокупности малых выборок. Построим один из возможных методов.

Рассмотрим вероятностную модель совокупности k малых выборок объемов n_1, n_2, ..., n_k соответственно. Пусть j-я выборка (X_{jt}, Y_{jt}), $t = 1, 2, ..., n_j$, имеет распределение, задаваемое вектором параметров $(p_{00j}, p_{10j}, p_{01j}, p_{11j})$ в соответствии с ранее введенными обозначениями, $j = 1, 2, ..., k$. Будем проверять гипотезу:

$$H_0 \;/\; p_{11}j = (p_{10}j + p_{11}j)\,(p_{01}j + p_{11}j),\; j = 1, 2, ..., k, \tag{7.14}$$

или в эквивалентной формулировке:

$$H_0 \,/\, p_{11}j\; p_{00}j - p_{10}j\; p_{01}j,\; j = 1, 2, ..., k. \tag{7.15}$$

Основная идея состоит в нахождении асимптотического распределения статистики типа $n^{1/2}V$ при росте числа k малых выборок. А именно, будем использовать статистику:

$$S = g_1 Z_1 + g_2 Z_2 + ... + g_k Z_k\,, \tag{7.16}$$

где $Z_1, Z_2, ..., Z_k$ — статистики, рассчитанные по формуле (7.12) для каждой из k выборок, т.е. $Z_j = a_j d_j - b_j c_j$, $j = 1, 2, ..., k$, а $g_1, g_2, ..., g_k$ — некоторые весовые коэффициенты, которые, в частности, могут совпадать. Поскольку

$$M(S) = g_1 M(Z_1) + g_2 M(Z_2) + ... + g_k M(Z_k),$$

то при справедливости гипотезы независимости (7.14)–(7.15) имеем $M(S) = 0$, поскольку

$$M(Z_j) = 0, j = 1, 2, ..., k,$$

при всех возможных значениях вектора параметров $(p_{00j}, p_{10j}, p_{01j}, p_{11j})$ согласно соотношению (7.13). Поскольку слагаемые в сумме (7.16) независимы, то при росте k случайная величина S в силу Центральной Предельной Теоремы является асимптотически нормальной. Дисперсия этой величины равна сумме дисперсий слагаемых:

$$D(S) = g_1^2 D(Z_1) + g_2^2 D(Z_2) + ... + g_k^2 D(Z_k)\,. \tag{7.17}$$

Для оценивания дисперсии S необходимо использовать **несмещенные** оценки дисперсий в каждой из k выборок (и в этом одна из основных «изюминок» разбираемого метода). Предположим, что построены статистики Tj такие, что

$$M(Tj) = D(Zj), j = 1, 2, ..., k. \tag{7.18}$$

Тогда при некоторых математических «условиях регулярности», на которых нет необходимости здесь останавливаться, несмещенная оценка дисперсии статистики S, имеющая согласно формулам (7.17) и (7.18) вид:

$$L = g_1^2 T_1 + g_2^2 T_2 + \ldots + g_k^2 T_k,$$

в силу закона больших чисел такова, что дробь $D(S) / L$ приближается к 1 при росте числа выборок (сходимость по вероятности). Отсюда следует, что распределение случайной величины $Q = SL^{-1|2}$ приближается при росте числа выборок к стандартному нормальному распределению с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Следовательно, критерий проверки гипотезы (7.14) — (7.15) независимости признаков, состоящий в том, что при $(-1{,}96) < Q < 1{,}96$ гипотеза принимается, а при Q , выходящих за пределы интервала $(-1{,}96;\ 1{,}96)$, гипотеза отклоняется, имеет уровень значимости, приближающийся к 0,05 при росте числа выборок. Мощность этого критерия зависит от значения величины $M(S)D(S)^{-1|2}$ при альтернативной гипотезе.

Для реализации намеченного плана осталось научиться несмещенно оценивать $D(Z_j)$. К сожалению, в литературе по несмещенному оцениванию не рассматривают случай мультиномиального распределения, поэтому кратко опишем процедуру построения несмещенной оценки $D(Z_j)$. Поскольку согласно формулам (7.12) и (7.13):

$$\begin{aligned} D(Z_j) = M(Z_j^2) - (M(Z_j))^2 = M(a_j^2 d_j^2) - 2M(a_j b_j c_j d_j) + \\ + M(b_j^2 c_j^2) + n_j^2 (p_{00j} p_{11j} - p_{01j} p_{10j})^2, \end{aligned} \tag{7.19}$$

то для вычисления $D(Z_j)$ достаточно найти входящие в правую часть формулы (7.19) начальные смешанные моменты мультиномиального распределения (четвертого порядка). Теоретически это просто — известен вид характеристической функции мультиномиального распределения (см., например, формулу (6.3.4) в монографии [11, с. 152]), а начальные смешанные моменты равны значениям ее соответствующих производных в 0, деленным на нужную степень мнимой единицы (формула (5.2.3) в монографии [11, с. 131]). Например, с помощью описанной процедуры после некоторых вычислений получаем, что (для упрощения записи здесь и далее опустим индекс j):

$$\begin{aligned} M(a^2 d^2) = n(n-1)(n-2)(n-3) p_{11}^2 p_{00}^2 + \\ + n(n-1)(n-2)(p_{11}^2 p_{00} + p_{11} p_{00}^2) + n(n-1) p_{11} p_{00}. \end{aligned} \tag{7.20}$$

Формула (7.20) показывает, что начальные смешанные моменты мультиномиального распределения являются многочленами от параметров p_{11}, p_{00}, p_{10}, p_{01} этого распределения, однако конкретный вид этих многочленов достаточно громоздок, поэтому не будем их здесь выписывать, ограничившись формулой (7.20) в качестве образца.

Как вытекает из формул (7.19) и (7.20), для построения несмещенной оценки $D(Z_j)$ достаточно научиться несмещенно оценивать произведения типа $p_{11}^r p_{00}^m$, где целые неотрицательные числа r, m не превосходят 2. Эта задача решается, начиная с меньших степеней r и m. Известно, что для ковариации мультиномиального вектора:

$$M(ad) = -n\, p_{00}\, p_{11} \tag{7.21}$$

(см., например, формулу (6.3.5) в монографии [11, с. 153]), а потому несмещенной оценкой для $p_{00}p_{11}$ является $(-ad/n)$. Далее, поскольку справедлива аналогичная (7.20) формула:

$$M(a^2 d) = n(n-1)(n-2)\, p_{11} p_{00}^2 + n(n-1)\, p_{11} p_{00}, \tag{7.22}$$

то с помощью формулы (7.21) преобразуем формулу (7.22) к виду:

$$M(a^2 d + (n-1)ad) = n(n-1)(n-2)\, p_{11} p_{00}^2, \tag{7.23}$$

т.е. несмещенной оценкой $p_{11}p_{00}^2$ является $ad(a + n - 1)\{n(n-1)(n-2)\}^{-1}$.

Следующий шаг — аналогичным образом с помощью формул (7.21) и (7.23) получаем несмещенную оценку для $p_{11}^2 p_{00}^2$, а затем и для $D(Z_j)$. Промежуточные формулы опущены из-за громоздкости. Окончательный результат таков:

$$T_j = (b_j + d_j)(c_j + d_j)(a_j + c_j)(a_j + b_j)(n-1)^{-1}.$$

Как легко видеть,

$$\frac{Z_j}{\sqrt{T_j}} = V_j \sqrt{n_j - 1},$$

т.е. в случае одной выборки предлагаемый метод проверки независимости совпадает с классическим.

Таким образом, общая идея рассматриваемого метода проверки гипотез по совокупности малых выборок состоит в том, что подбирается статистика, математическое ожидание которой для каждой малой выборки равно 0 при справедливости проверяемой гипотезы. Затем для каждой выборки строится несмещенная оценка дисперсии этой статистики. Итоговая статистика критерия для проверки гипотезы — это сумма рассматриваемых статистик для всех малых выборок, деленная на квадратный корень из суммы всех несмещенных оценок дисперсий рассматриваемых статистик. При справедливости нулевой гипотезы эта итоговая статистика имеет в асимптотике стандартное нормальное распределение (при выполнении некоторых математических «условий регулярности», которые обычно выполняются при анализе реальных статистических данных).

Впервые такой способ проверки гипотез по совокупности малых выборок был предложен в монографии [9, раздел 4.5]. Нестандартность постановки состоит в том, что число неизвестных параметров растет пропорционально объему данных, т.е. имеет место так называемая «асимптотика Колмогорова», или асимптотика растущей размерности. Дальнейшее развитие применительно к данных типа «да» — «нет» (или «годен» — «дефектен») шло в рамках теории люсианов как части статистики объектов нечисловой природы (см. следующий раздел 7.4).

7.4. Теория люсианов

Асимптотика растущей размерности и проверяемые гипотезы. Продолжим изучение модели порождения данных (7.6)–(7.7) раздела 7.2. Будем использовать асимптотику s = const, $k \to \infty$. При этом число неизвестных параметров растет пропорционально объему данных.

В последние десятилетия (с начала 1970-х гг.) в прикладной статистике все большее распространение получают постановки, в которых число неизвестных параметров растет вместе с объемом выборки. Результаты, полученные в подобных постановках, называют найденными «в асимптотике растущей размерности» или «в асимптотике А.Н. Колмогорова» [13], перенося терминологию исследований по дискриминантному анализу на общий случай. Как известно, в задаче дискриминации в две совокупности (т.е. отнесения вновь появляющегося объекта к одному из двух классов) академик АН СССР А.Н. Колмогоров (1903–1987 гг.) предложил рассматривать асимптотику:

$$A \to \infty,\ N_i \to \infty,\ \frac{A}{N_i} \to \lambda_i > 0,\ i = 1{,}2\ ,$$

где A — размерность пространства (число признаков), N_i — объемы обучающих выборок, λ_i — константы, i = 1,2. Эта асимптотика естественна при обработке многих видов технических, организационно-экономических, социологических, медицинских данных, поскольку число признаков, определяемых для каждого изучаемого объекта, респондента или пациента, обычно имеет тот же порядок, что и объем выборки.

Пусть $A_1, A_2, ..., A_s$ — независимые (между собой) люсианы с векторами параметров $P_1, P_2, ..., P_s$ соответственно. *Гипотезой согласованности* будем называть гипотезу:

$$P_1 = P_2 = ... = P_s. \qquad (7.24)$$

Для ранжировок и разбиений под согласованностью понимают более частную гипотезу, предполагающую отрицание равномерности распределений (т.е. одинаковой вероятности появления каждой возможной ранжировки или разбиения), что соответствует замене проверки гипотезы (7.24) на проверку гипотезы:

$$P_1 = P_2 = ... = P_s = (1/2,\ 1/2,\ ...,\ 1/2). \qquad (7.25)$$

Как разъяснено в [9, 14], гипотеза (7.24) более адекватна конкретным задачам обработки реальных данных, например, экспертных оценок, чем (7.25). Поэтому полученные от экспертов данные, содержащие противоречия, целесообразно рассматривать как люсианы и проверять гипотезу (7.24), а не подбирать ближайшие ранжировки или разбиения , после чего проверять согласованность методами теории случайных ранжировок или разбиений, как иногда рекомендуется.

Пусть $A_1, A_2, ..., A_m$ и $B_1, B_2, ..., B_n$ — независимые в совокупности люсианы длины k, одинаково распределенные в каждой группе с параметрами $P(A)$ и $P(B)$ соответственно. *Гипотезой однородности* называется гипотеза:

$$P(A) = P(B).$$

В асимптотике растущей размерности принимаем, что m и n постоянны, а $k \to \infty$.

Пусть (A_i, B_i), i = 1. 2, ..., s — последовательность (фиксированной длины) пар люсианов. Пары предполагаются независимыми между собой. Требуется проверить гипотезу независимости A_i и B_i, т.е. внутри пар. В ранее введенных обозначениях *гипотеза независимости* — это гипотеза:

$$P(X_{ij}(A)=1, X_{ij}(B)=1)=P(X_{ij}(A)=1)P(X_{ij}(B)=1),$$
$$i=1, 2, ..., s; j=1, 2, ..., k,$$

проверяемая в предположении:

$$P_1(A)=P_2(A)=...=P_s(A), P_1(B)=P_2(B)=...=P_s(B).$$

В настоящем разделе излагается метод проверки гипотез о люсианах в асимптотике растущей размерности на примере гипотезы согласованности. Эти результаты получены в [9, 14, 15]. Дальнейшее изучение проведено Г.В. Рыдановой, Т.Н. Дылько, Г.В. Раушенбахом, О.В. Филипповым, А.М. Никифоровым и др. Гипотеза однородности рассмотрена, например, в [15]. Методы проверки гипотезы однородности люсианов развиты и изучены Г.В. Рыдановой [16] на основе описанного ниже подхода. Она помимо доказательства предельных теорем провела подробное изучение скорости сходимости методом статистических испытаний.

Методы проверки согласованности люсианов нашли практическое применение, в частности, при анализе медицинских экспертных данных. Они были использованы в кардиологии при анализе данных кинетотопографии [15, 17, 18]. Эти методы включены в методические рекомендации Академии медицинских наук СССР и Ученого Медицинского Совета Минздрава СССР по управлению научными медицинскими исследованиями [19].

Метод проверки гипотез о люсианах в асимптотике растущей размерности. Будем использовать дальнейшее развитие метода, описанного в предыдущем разделе 7.3. Почему нельзя использовать иные подходы, имеющиеся в математической статистике? Поскольку число неизвестных параметров растет вместе с объемом выборки и пропорционально ему, эти параметры не являются мешающими (в том смысле, как этот термин понимается в теории математической статистики). Отметим, что согласно [20] равномерно наиболее мощных критериев не существует, поскольку параметров много (больше одного). Не останавливаясь на других подходах математической статистики, констатируем необходимость применения метода проверки гипотез по совокупности малых выборок.

Пусть имеются k выборок, независимых между собой. Пусть при справедливости нулевой гипотезы по каждой из выборок можно построить несмещенную оценку $\xi_i \in R^p$ векторного нуля $0 \in R^p$, где $p \geq 1$, $i = 1, 2, ..., k$. Другими словами, пусть распределение i-й выборки описывается параметром θ_i, лежащим в произвольном пространстве, а нулевая гипотеза, очевидно, состоит в том, что $\theta_i \in \Theta_{0i}$, где Θ_{0i} — собственное подмножество множества $\{\theta_i\}$. Предполагается, что можно по i-й выборке вычислить статистику ξ_i такую, что

$$M\xi_i = 0 \tag{7.26}$$

при всех $\theta_i \in \Theta_{0i}$. Очевидно, $\xi_i \equiv 0$ удовлетворяют (7.24). Однако для рассматриваемого метода необходимо, чтобы при всех $\theta_i \in \Theta_{0i}$ ковариационная матрица вектора ξ_i была ненулевой:

$$Cov(\xi_i) = M(\xi_i^T \xi_i) \neq 0 . \tag{7.27}$$

В теории математической статистики иногда используют понятие полноты параметрического семейства распределений. Если рассматриваемое семейство является полным — а так и есть для люсианов, — то не существует достаточной статистики, удовлетворяющей одновременно условиям (7.24) и (7.25) (см., например, [21, § 2.12–2.14]). Поэтому будем использовать статистики, не являющиеся достаточными.

Следующее предположение — ковариационные матрицы статистик ξ_i, т.е. $Cov(\xi_i)$, также допускают несмещенные оценки S_i по тем же выборкам:

$$M(S_i) = Cov(\xi_i) \tag{7.28}$$

при всех $\theta_i \in \Theta_{0i}$.

Рассматриваемый метод основан на том, что поскольку случайные вектора ξ_i определяются по независимым между собой выборкам, то ξ_i независимы в совокупности, а потому случайный вектор:

$$\xi = \sum_{i=1}^{k} \xi_i \tag{7.29}$$

является суммой независимых случайных векторов, имеет в силу (7.26) нулевое математическое ожидание, а его ковариационная матрица равна

$$C_k = \sum_{i=1}^{k} Cov(\xi_i) .$$

При справедливости многомерной центральной предельной теоремы (простейшее условие справедливости этой теоремы для ξ_i в случае люсианов — отделенность от 0 и 1 всех элементов матриц P_j, равномерная по s и k) вектор ξ является асимптотически нормальным, т.е. при $k \to \infty$ распределение ξ сближается (в смысле, раскрытом в [4, гл. 4]) с многомерным нормальным распределением $N(0; C_k)$.

Однако эту сходимость нельзя непосредственно использовать для проверки исходной гипотезы, поскольку матрица C_k неизвестна статистику. Необходимо оценить эту матрицу по статистическим данным. В силу (7.28) в качестве оценки C_k естественно использовать:

$$C_k^* = \sum_{i=1}^{k} S_i .$$

Простейшая формулировка условий справедливости такой замены — предположение о том, что к последовательности S_i можно применить закон больших чисел. А именно, пусть существует неотрицательно определенная матрица C такая, что при $k \to \infty$:

$$\frac{1}{k}(C_k^* - C_k) \to 0, \quad \frac{1}{k}C_k \to C . \tag{7.30}$$

В силу результатов [4, гл. 4] из асимптотической нормальности ξ и соотношений (7.30) следует, что распределение статистики:

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{k}}\xi$$

сходится к нормальному распределению $N(0; C)$. При этом, если некоторый случайный вектор τ имеет распределение $N(0; C)$, то распределение случайной величины $q(\eta)$ сходится к распределению $q(\tau)$ для произвольной интегрируемой по Риману по любому кубу функции q: $R^p \to R^1$. Для проверки нулевой гипотезы предлагается пользоваться статистикой $q(\eta)$ при подходящей функции q, а процентные точки брать соответственно распределению $q(\tau)$. В этом и состоит рассматриваемый метод проверки гипотез о люсианах в асимптотике растущей размерности. Для реальных расчетов целесообразно использовать линейные или квадратические функции q от координат вектора η.

Отклонения от нулевой гипотезы приводят, как правило, к нарушению равенств (7.26) и (7.27). Случайный вектор η при этом обычно остается асимптотически нормальным, но с другими параметрами, что может быть обычным образом использовано для построения оптимального решающего правила, соответствующего заданной альтернативе (например, согласно лемме Неймана-Пирсона). Поведение при альтернативах для некоторых гипотез изучено в [15, 16], здесь его не будем рассматривать, поскольку вычисление мощности не требует новых идей.

Несмещенные оценки параметров асимптотического распределения вектора попарных расстояний. Применим описанный выше метод для проверки гипотезы согласованности люсианов. Исходные данные — люсианы:

$$A_j = (X_{1j}, X_{2j}, \ldots, X_{kj}),\ j = 1, 2, \ldots, s.$$

В качестве i-й выборки возьмем совокупность испытаний Бернулли, стоящих на i-м месте в рассматриваемых люсианах:

$$X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{is}. \tag{7.31}$$

При справедливости нулевой гипотезы в (7.31) стоят независимые испытания Бернулли с одной и той же вероятностью успеха p_i; при нарушении нулевой гипотезы согласованности независимость испытаний Бернулли сохраняется, но вероятности успеха могут различаться.

В качестве вектора ξ, на основе которого строятся статистики для проверки согласованности, будем использовать вектор попарных расстояний между люсианами:

$$\xi = \{d(A_p, A_q),\ 1 \le p < q \le s\}, \tag{7.32}$$

в котором пары (p, q) упорядочены лексикографически,

$$d(A_p, A_q) = \sum_{i=1}^{k} \mu_i \,|\, X_{ip} - X_{iq} \,|, \quad \mu_i > 0\,. \tag{7.33}$$

В главе 6 этой книги это расстояние выведено из некоторой системы аксиом (напомним, что совокупность векторов из 0 и 1 размерности k находится во взаимнооднозначном соответствии с совокупностью подмножеств множества из k элементов; при этом 1 соответствует тому, что элемент входит в подмножество, а 0 — что не входит).

Из вида расстояния в формуле (7.33) следует, что введенный в (9) вектор ξ имеет вид (7.29):

$$\xi_i = \mu_i\{|X_{ip} - X_{iq}|, 1 \le p < q \le s\}. \tag{7.34}$$

Следовательно, для применения описанного выше метода проверки гипотез о люсианах в асимптотике растущей размерности достаточно построить на основе вектора ξ_i из (7.34) несмещенную оценку 0 и найти несмещенную оценку ковариационной матрицы этой оценки.

Чтобы применить общую схему, необходимо начать с построения статистики β такой, чтобы при всех p_i имело место равенство:

$$M(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta) - 0,\ 1 \le p < q \le s.$$

Элементарный расчет дает:

$$M|X_{ip} - X_{iq}| = 2p_i(1 - p_i).$$

Как известно [22, с. 56–57], несмещенная оценка многочлена:

$$f(p) = \sum_{h=0}^{m} a_h p^h$$

по результатам m независимых испытаний Бернулли с вероятностью успеха p в каждом имеет вид:

$$f^*(p) = \sum_{h=0}^{m} a_h \frac{\gamma^{[h]}}{m^{[h]}}, \tag{7.35}$$

где γ — общее число успехов в m испытаниях и использовано обозначение:

$$n^{[h]} = n(n-1)\ldots(n-h+1).$$

Ясно, что многочлены степени $m + 1$ и более высокой невозможно несмещенно оценить по результатам m испытаний.

В случае $f(p) = 2p(1 - p)$ в соответствии с (7.35) получаем несмещенную оценку:

$$\beta = \frac{2}{m-1}\left(\gamma - \frac{\gamma^2}{m}\right). \tag{7.36}$$

Таким образом, можно применять общий метод проверки гипотез о люсианах в асимптотике растущей размерности с

$$\xi_i = \mu_i\,(\{|X_{ip} - X_{iq}|,\ 1 \le p < q \le s\} - \beta_i e),$$

где коэффициенты β_i определяются с помощью формулы (7.36) по γ_i — общему числу единиц, стоящих на i-м месте в люсианах $A_1, A_2, \ldots, A_s$, а e — вектор размерности $s(s-1)/2$ с единичными координатами. Тогда несмещенная оценка 0, о которой идет речь в методе проверки гипотез по совокупности малых выборок, имеет вид:

$$\xi = \{d(A_p, A_q),\ \ 1 \le p < q \le s\} - \sum_{i=1}^{k} \mu_i \beta_i e\,.$$

Для использования статистики типа η, распределение которой приближается с помощью нормального распределения:

$$N\left(0;\ \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} S_i\right),$$

необходимо уметь несмещенно оценивать ковариационные матрицы $Cov(\xi_i)$. Для этого достаточно найти математические ожидания элементов матрицы $M(\xi_i^T \xi_i)$ как функции (многочлены) от p_i, а затем использовать формулу (7.35) для получения несмещенных оценок.

Вычисление матрицы $M(\xi_i^T \xi_i)$ хотя и трудоемко, но не содержит каких-либо принципиальных трудностей. В [15] вычислены диагональные элементы рассматриваемой матрицы. Вычисление занимает около 2,5 книжных страниц (с. 299–301). Поэтому здесь приведен только окончательный итог.

Обозначим для краткости $p_i = p$. В [15] показано, что

$$D = D(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta_i) = \left(2 - \frac{4}{s}\right)p(1-p) - 4\frac{(s-2)(s-3)}{s(s-1)}p^2(1-p)^2\,.$$

Если двухэлементные множества $\{p, q\}$ и $\{r, t\}$ не имеют ни одного общего элемента, то

$$C_1 = M(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta_i)(|X_{ir} - X_{it}| - \beta_i) = -\frac{4}{s}p(1-p) + \frac{8(2s-3)}{s(s-1)}p^2(1-p)^2\,,$$

а если имеют ровно один общий элемент, то

$$C_2 = M(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta_i)(|X_{ir} - X_{it}| - \beta_i) = \left(1 - \frac{4}{s}\right)p(1-p) - 4\frac{(s-2)(s-3)}{s(s-1)}p^2(1-p)^2 .$$

С помощью формулы (7.35) получаем несмещенные оценки для D, C_1 и C_2 как многочленов от p:

$$D^* = \frac{2\gamma_i(s-\gamma_i)}{s^2(s-1)^2}\{(s-2)(s-1) - 2(\gamma_i - 1)(s-\gamma_i - 1)\},$$

$$C_1^* = \frac{4\gamma_i(s-\gamma_i)}{s^2(s-1)}\left\{\frac{2(2s-3)(\gamma_i-1)(s-\gamma_i-1)}{(s-1)(s-2)(s-3)} - 1\right\},$$

$$C_2^* = \frac{\gamma_i(s-\gamma_i)}{s^2(s-1)^2}\{(s-4)(s-1) - 4(\gamma_i - 1)(s-\gamma_i - 1)\}.$$

С помощью трех чисел D^*, C_1^*, C_2^* выписывается несмещенная оценка матрицы ковариаций вектора ξ_i/μ_i, которую обозначим B_i. Тогда асимптотически нормальный вектор ξ имеет нулевое математическое ожидание и ковариационную матрицу, несмещенно и состоятельно (в смысле соотношений (7)) оцениваемую с помощью:

$$Cov(\xi)^* = \sum_{i=1}^{k} \mu_i^2 B_i . \tag{7.37}$$

Асимптотическая нормальность доказывается, естественно, в схеме серий. Достаточным условием является существование положительной константы ε такой, что

$$\mu_i \geq \varepsilon,\ \frac{1}{\mu_i} \geq \varepsilon,\ p_i \geq \varepsilon,\ 1 - p_i \geq \varepsilon \tag{7.38}$$

при всех k и i, $1 \leq i \leq k$.

Поскольку D, C_1 и C_2 являются многочленами четвертой степени от p, то несмещенные оценки для них существуют при $s \geq 4$. Если же $s < 4$, то несмещенных оценок не существует. Поэтому указанным методом проверять согласованность можно лишь при числе люсианов $s \geq 4$.

Проверка согласованности люсианов. Пусть α — нормально распределенный случайный вектор размерности $s(s - 1) / 2$ с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей, определенной формулой (7.37). Согласно результатам [4, гл. 4] для любой действительнозначной функции f, интегрируемой по Риману по любому гиперкубу, распределения случайных величин $f(\xi)$ и $f(\alpha)$ сближаются при $k \to \infty$. Это означает, что вместо распределения случайной величины $f(\xi)$ для построения критериев проверки гипотез можно использовать распределение случайной величины $f(\alpha)$. Более того, аналогичный результат верен при замене f на f_n (при слабых внутриматематических условиях регулярности, наложенных на последовательность функций f_n). Следовательно, для проверки гипотезы согласованности люсианов можно пользоваться любой статистикой $f_n(\xi)$, для которой могут быть вычислены на компьютере или заранее табулированы процентные точки распределения $f_n(\alpha)$, аппроксимирующего распределение $f_n(\xi)$.

В частности, можно использовать линейные статистики, представляющие собой скалярное произведение случайного вектора ξ и некоторого заданного детерминированного вектора коэффициентов a, т.е.

$$(\xi, a) = \sum_{i=1}^{k} \left(\mu_i \sum_{1 \le j < t \le s} a_{jt} (| X_{ij} - X_{it} | - \beta_i) \right). \tag{7.39}$$

Линейные статистики имеют нулевое математическое ожидание и дисперсию, очевидным образом выражающуюся через матрицу коэффициентов $||a_{ij}||$ и числа D, C_1 и C_2, а потому несмещенно и состоятельно оцениваемую с помощью с помощью выписанных выше оценок для D, C_1 и C_2.

Отметим, что $(\xi, a) = 0$ при $a_{ij} \equiv 1$, $1 \le j < t \le s$. Это следует как из непосредственного вычисления дисперсии (ξ, a), так и из того, что (ξ, a) в рассматриваемом случае выражается через достаточную статистику $(\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_k)$ и является несмещенной оценкой нуля, а семейство биномиальных распределений полно, т.е. существует только одна несмещенная оценка нуля — тождественный нуль. Таким образом, сумма координат вектора ξ, т.е. непосредственный аналог коэффициента ранговой конкордации Кендалла — Смита из теории ранговой корреляции, тождественно равна 0.

Распределение статистики (7.39) при альтернативах изучено в работе [16].

Рассмотрим два частных случая.

Первый частный случай. Проверка согласованности двух определенных люсианов (ответов двух экспертов), j-го и t-го, может осуществляться с помощью статистики (7.39), в которой отличен от 0 только член с $a_{jt} = 1$. Оценкой дисперсии является D^*.

Второй частный случай. Пусть необходимо проверить согласованность люсианов с одним из них, скажем, с j-м (например, люсианы отражают мнения экспертов, а j-й из них является наиболее компетентным — по априорной оценке, или «лицом, принимающим решения», или его мнение сильно отличается от мнений остальных). Это можно сделать с помощью статистики (7.39), в которой

$$a_{jt} = 1,\ t = j + 1, j + 2, ..., s;\ a_{tj} = 1,\ t = 1, 2, ..., j - 1;$$
$$a_{qt} = 0,\ q \neq j,\ t \neq j,\ 1 \leq q < t \leq s.$$

Другими словами, она имеет вид:

$$W = \sum_{t=1}^{s} d(A_j, A_t) - (s-1)\sum_{i=1}^{k} \mu_i \beta_i\ , \tag{7.40}$$

где расстояние d между люсианами определено в (7.33), а β_i — в (7.36) с заменой m на s и γ на γ_i. Используя полученные ранее несмещенные оценки элементов ковариационной матрицы, нетрудно показать, что несмещенная и состоятельная (в смысле формулы (7.30) выше) оценка дисперсии W имеет вид:

$$D^*(W) = \sum_{i=1}^{k} \mu_i^2 \frac{\gamma_i (s - \gamma_i)}{s^2} \{(s-2)^2 - 4(\gamma_i - 1)(s - \gamma_i - 1)\}\ .$$

Тогда при выполнении некоторых внутриматематических условий регулярности, например, условий (7.38), распределение статистики:

$$\frac{1}{\sqrt{D^*(W)}} W$$

сходится при $k \to \infty$, $s = \mathrm{const}$ к стандартному нормальному распределению с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 (при справедливости гипотезы (7.24) согласованности люсианов).

Статистика (7.40) наряду со статистикой, предназначенной для проверки гипотезы однородности люсианов, включена в «Методические рекомендации» АМН СССР и УМС Минздрава СССР [19]. Последнюю статистику не расписываем здесь, поскольку для этого не требуются новые идеи.

Различные подходы к понятию согласованности. Обсудим условия, при выполнении которых люсианы естественно считать согласованными (а экспертов, чьи мнения отражают люсианы, имеющими единое мнение, искаженное случайными ошибками), т.е. обсудим различные методы проверки гипотезы (7.24).

Полное индивидуальное согласие имеет место, если никакие два эксперта не являются «несогласованными». Уровень значимости определяется описанным выше способом (первый частный случай). Однако наличие одной или нескольких пар экспертов, чьи мнения нельзя считать согласованными, не свидетельствует о необходимости отклонения гипотезы (7.24), поскольку парных проверок проводится много, а именно, $s(s-1) \geq 6$, а способы установления уровня значимости при множественных проверках, зависимых между собой, к настоящему времени плохо разработаны [3, раздел 11.1]. Проблема множественных проверок для количественных признаков обсуждается А.А. Любищевым [23, с. 36–39], выход дается дисперсионным анализом. Можно брать не все попарные проверки, а только для $[s / 2]$ пар люсианов, причем разбиение на пары проводить независимо от принятых люсианами значений, как это делает Т.Н. Дылько [24]. Тогда для проверки гипотезы (7.24) на уровне значимости α надо брать для проверки в каждой паре уровень значимости β, где β рассчитывается понятным образом, приближенно $\beta = \alpha / [s / 2]$.

Полное согласие в целом означает, что для любого эксперта мнения всех остальных оказываются с ним согласованными при использовании статистики (7.40) (второй частный случай). Отсутствие подобного согласия для одного или нескольких экспертов не означает отклонения гипотезы согласованности люсианов (7.24) — по тем же причинам, что и в предыдущем случае.

Минимальное согласие имеют мнения экспертов, когда хотя бы для одного из них гипотеза согласованности не отвергается с помощью статистики (7.40). В этом случае групповое мнение целесообразно строить, выделяя «ядро», о чем подробнее сказано ниже.

Расстояние d между люсианами (см. формулу (7.33)) введено аксиоматически в главе 6 (напомним, что реализацию люсиана можно рассматривать как подмножество конечного множества). Там же из иной системы аксиом выведено другое расстояние — D-метрика. Рассмотрим проверку согласованности люсианов с использованием D-метрики. В этом случае расстояние между люсианами A_1 и A_2 имеет вид:

$$D(A_1, A_2) = \begin{cases} \dfrac{d(A_1, A_2)}{T(A_1, A_2)}, & T(A_1, A_2) \neq 0, \\ 0, & T(A_1, A_2) = 0, \end{cases}$$

где

$$T(A_1, A_2) = \sum_{i=1}^{k} \mu_i \max(X_{i1}, X_{i2}) \, .$$

Ясно, что теория, основанная на D-метрике, из-за наличия знаменателя в только что приведенной формуле существенно сложнее теории, основанной на метрике d. Ясно также, что описанный выше метод проверки гипотез о люсианах в асимптотике растущей размерности применить не удается. Чтобы продемонстрировать существенное усложнение ситуации, опишем лишь асимптотическое поведение расстояния $D(A_1, A_2)$ между двумя люсианами.

Теорема 7.4 [25]. Пусть p_{1i} и p_{2i} отделены от 0 и 1, а μ_i отделены от 0 и $+\infty$. Тогда расстояние $D(A_1, A_2)$ между люсианами A_1 и A_2 асимптотически нормально при $k \to \infty$ с параметрами:

$$t_k = \frac{N_1}{N_2}, \quad q_k = \frac{N_1}{N_2}\sqrt{\frac{N_3}{N_1^2} + \frac{N_4}{N_2^2} - 2\frac{N_5}{N_1 N_2}} \, ,$$

т.е. для любого числа x справедливо предельное соотношение:

$$\lim_{k\to\infty} P\left\{\frac{D(A_1, A_2) - t_k}{q_k} \le x\right\} = \Phi(x) \, ,$$

где $\Phi(x)$ — функция стандартного нормального распределения с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

Величины N_j, j = 1, 2, 2, 4, 5, выражаются через μ_i и величины:

$$p_{3i} = p_{1i} + p_{2i} - 2p_{1i}\,p_{2i}, \; p_{4i} = p_{1i} + p_{2i} - p_{1i}\,p_{2i}$$

следующим образом:

$$N_1 = \sum_{i=1}^{k} \mu_i p_{3i}, \quad N_2 = \sum_{i=1}^{k} \mu_i p_{4i}, \quad N_3 = \sum_{i=1}^{k} \mu_i^2 p_{3i}(1 - p_{3i}),$$

$$N_4 = \sum_{i=1}^{k} \mu_i^2 p_{4i}(1 - p_{4i}), \quad N_5 = \sum_{i=1}^{k} \mu_i^2 p_{3i}(1 - p_{4i}) \, .$$

Следствие 7.1. Пусть $p_{1i} = p_1$ и $p_{2i} = p_2$ при всех i, k, причем p_1 и p_2 лежат внутри отрезка (0; 1). Пусть μ_i отделены от 0 и $+\infty$. Тогда расстояние $D(A_1, A_2)$ между люсианами A_1 и A_2 асимптотически нормально при $k \to \infty$ с параметрами:

$$t_k = \frac{p_3}{p_4}, \quad q_k^2 = \frac{p_1 p_2 p_3}{p_4^3} \frac{\sum_{i=1}^{k} \mu_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{k} \mu_i\right)^2},$$

где

$$p_3 = p_1 + p_2 - 2p_1p_2, p_4 = p_1 + p_2 - p_1p_2.$$

Следствие 7.2. Пусть в предположениях следствия 7.1 $p_1 = p_2 = p$ и $\mu_i = 1$ при всех i, k. Тогда

$$t_k = \frac{2(1-p)}{2-p}, \quad q_k = \frac{2(1-p)}{k(2-p)^3}.$$

Замечание. Пусть в следствии 7.2 $p = 1/2$. Тогда A_1 и A_2 — люсианы, равномерно распределенные на множестве всех последовательностей из 0 и 1 длины k. В частности, эти люсианы могут соответствовать независимым случайным множествам, равномерно распределенным на совокупности всех подмножеств конечного множества из k элементов, или независимым толерантностям, равномерно распределенным на множестве всех толерантностей, определенных на множества из m элементов, где $m(m-1) / 2 = k$. По следствию 7.2 расстояние между люсианами $D(A_1, A_2)$ асимптотически нормально с математическим ожиданием 0,667 и дисперсией 0,296 k^{-1}. Напомним, что распределения коэффициентов ранговой корреляции Кендалла и Спирмена изучены (в основном) лишь при условии равномерности распределения случайных ранжировок на множестве всех возможных ранжировок фиксированного числа объектов. Для теории люсианов случай равномерности распределения — весьма частный, а для теории ранжировок — основной. Как уже говорилось, отказ от равномерности — привлекательная черта теории люсианов.

Классификация люсианов. Отсутствие согласованности в одном из перечисленных выше смыслов позволяет сделать заключение о целесообразности разбиения всех люсианов (например, если они выражают мнения экспертов) на группы близких между собой, т.е. о целесообразности классификации люсианов, точнее, их кластер-анализа. Поскольку введена мера близости между люсианами $d(A_1, A_2)$ или $D(A_1, A_2)$, то напрашивается следующий способ действий: провести разбиение на кластеры с помощью одного из алгоритмов, основанных на использовании меры близости, а затем проверить мнения в каждом классе на согласованность. Однако применение того или иного алгоритма кластер-анализа, вообще говоря, может нарушить предпосылки описанных выше способов описанных выше способов проверки согласованности (ср. обсуждение похожей проблемы, связанной с применением регрессионного анализа после кластер-анализа, в [3, гл. 11]). Поэтому опишем методы классификации, опирающиеся на результаты проверки согласованности.

Разбиение на кластеры, внутри каждого из которых имеет место «полное индивидуальное согласие», может быть проведено с помощью агломеративного иерархического алгоритма «дальнего соседа», дополненного ограничением сверху на диаметр кластера. Это ограничение строится из статистических соображений, в отличие от методов, обычно используемых в кластер-анализе [3, гл. 5]. При этом в качестве меры близости между люсианами используют не расстояния d или D, а модуль статистики, применяемой для проверки согласованности двух люсианов, т.е. статистики (7.39), в которой только одно из чисел a_{ij} отлично от 0. Упомянутое ограничение таково: диаметр кластера не должен превосходить процентной точки предельного распределения, соответствующей используемому при анализе рассматриваемых данных уровню значимости (можно порекомендовать 5 %-й уровень значимости). В результате работы алгоритма получим кластеры, в которых имеется «полное индивидуальное согласие», причем объединение любых двух кластеров приведет к исчезновению этого свойства у объединения. Поскольку способ выделения итогового разбиения из иерархического дерева разбиений имеет вероятностно-статистическое обоснование, изложенное выше, то описанный метод классификации люсианов следует считать — в терминологии [26] — не методом анализа данных, а вероятностно-статистическим методом.

Кластеры «с полным согласием в целом» могут быть получены с помощью агломеративного иерархического алгоритма, в котором мерой близости двух кластеров является максимальное значение модуля статистики (7.40), когда j пробегает номера мнений (люсианов), вошедших в объединение рассматриваемых кластеров, а суммирование в (7.40) проводится по всем люсианам в этом объединении. Ограничение сверху на меру близости кластеров определяется процентной точкой предельного распределения статистики W, заданной формулой (7.40).

Кластеры «с минимальным согласием» можно получить, при фиксированном j выделяя совокупность люсианов, согласованных с A_j в смысле статистики W из (7.40).

На основе двух рассмотренных выше частных случаев линейной статистики (7.39) можно строить и другие способы классификации. Например, для каждого люсиана A_m можно выделить кластер «типа шара» (см. [3, гл. 5]) из люсианов, попарно согласованных с A_m. Все такие способы имеют вероятностно-статистическое обоснование, и потому к ним относится сказанное выше относительно выделения кластеров «с полным индивидуальным согласием».

Замечание. Проверка согласованности приведенными выше критериями может привести к отрицательному результату двумя способами — либо значение статистики окажется слишком большим, либо слишком малым. Первое означает, что гипотеза согласованности люсианов (7.24) неверна, вторая — что неверна вероятностная модель реального явления или процесса, основанная на люсианах. С необходимостью учета второй возможности мы столкнулись при применении теории люсианов для анализа данных топокарт, полученных при проведении кинетокардиографии у больных инфарктом миокарда [17, 18].

Нахождение среднего. В результате классификации получаем согласованные (в одном из указанных выше смыслов) группы люсианов. Для каждой из них полезно рассмотреть среднее. В зависимости от конкретных приложений в прикладных исследованиях применяют либо среднее в виде последовательностей 0 и 1, т.е. в виде реализации люсиана, либо среднее в виде последовательности оценок вероятностей $(p_1, p_2, ..., p_k)$. Кроме того, оно может находиться либо с помощью методов, подавляющих «засорения» («выбросы»), либо без учета возможности засорения. Рассмотрим все четыре возможности.

В соответствии с подходом главы 6 этой книги при отсутствии засорения эмпирическое среднее ищется как решение задачи:

$$\sum_{j=1}^{m} d(A_j, A) \to \min_{A \in X}, \tag{7.41}$$

где $A_1, A_2, ..., A_m$ — люсианы, входящие в рассматриваемый кластер, X — множество, которому принадлежит среднее. Если X — совокупность последовательностей из 0 и 1, то правило (7.41) дает решение по правилу большинства.

Если X — пространство последовательностей вероятностей, то решением задачи (7.41) является та же последовательность 0 и 1, что и в первом случае.

Поэтому в качестве среднего вместо решения задачи (7.41) целесообразно рассматривать просто последовательность частот.

Асимптотическое поведение средних при $m \to \infty$ вытекает из законов больших чисел, теорем, описывающих асимптотику решений экстремальных статистических задач [4, разд. 6.3], и теоремы Муавра — Лапласа соответственно.

В работе [27] при анализе результатов эксперимента показано, что ответы реальных экспертов разбиваются на многочисленное «ядро», расположенное вокруг истинного мнения, и отдельных «диссидентов», разбросанных по периферии. Причем оценка истинного мнения по «ядру» является более точной, чем по всей совокупности, поскольку мнения «диссидентов» не отражают истинного мнения. Поэтому для построения группового мнения, в том числе среднего для совокупности люсианов, отражающих мнения экспертов, естественно применять методы, подавляющие мнения «диссидентов», что соответствует методологии робастности.

«Ядро» может быть построено следующим образом. Решается задача (7.41) с конечным множеством X, состоящим из всех исходных люсианов: $X = \{A_1, A_2, \ldots, A_m\}$, т.е. из результатов наблюдений выбирается тот, что находится «в центре» совокупности результатов наблюдений. Пусть A_j является решением этой задачи. В качестве ядра предлагается рассматривать совокупность всех люсианов, которые попарно согласованы с A_j. Другой вариант: рассматривается кластер с «полным внутренним согласием», куда входит A_j. (При этом, очевидно, должно быть изменено (уменьшено) критическое значение критерия по сравнению с процедурой, приведшей к выделению группы, нахождением группового мнения которой мы занимаемся.) Затем групповое мнение ищется лишь для элементов «ядра». Описанная процедура особенно необходима в случае, когда не было предварительного разбиения совокупности люсианов на группы согласованных друг с другом. Новым по сравнению с [27] является придание вероятностного смысла порогу, выделяющему «ядро».

Обобщая идею выделения «ядра», приходим к «взвешенным итеративным методам оценивания среднего» (ВИМОС — оценкам среднего), введенным и изученным в работе [28]. Их применение для люсианов не требует специальных рассмотрений.

Таким образом, в настоящем разделе представлен ряд методов обработки специального вида объектов нечисловой природы — люсианов. При этом для решения одной и той же задачи, например, задачи классификации, предлагается ряд методов, точно так же, как для решения классической задачи проверки однородности двух независимых выборок имеется большое число методов [3, гл. 4].

7.5. Метод парных сравнений

Пример практического применения метода парных сравнений. Деятельность предприятия по реализации товаров и услуг всегда сопряжена с рядом проблем, от качества решения которых зависит его будущее. Руководителю службы маркетинга необходимо знать факторы, сдерживающие продажи, и оценить степень важности каждого из них. При кажущейся очевидности и простоте решения далеко не вся управленческая команда дает однозначный ответ: какая из проблем на текущий момент является наиболее важной. Необходим экспертный опрос на эту тему.

Целью исследования факторов, влияющих на объемы продаж, является их ранжирование по степени важности. Для этого среди 25 сотрудников отдела сбыта, а также 10 руководителей завода ГАРО (Великий Новгород) одним из топ-менеджеров предприятия А.А. Пивнем был проведен опрос, в котором предлагалось сравнить попарно факторы, определив более важный среди двух. Итог определялся как среднее арифметическое сумм баллов, набранных каждым фактором у всех опрашиваемых.

Были проанализированы следующие 15 факторов:

- потребительские свойства изделий (качество, надежность, показатели назначения и т.д.);
- уровень цен;
- срок поставки продукции;
- информация о предлагаемых к продаже изделиях;
- уровень гарантийного и сервисного обслуживания;
- работа дилеров, представительств;
- рекламная деятельность;
- численность персонала;
- мотивация труда;
- инициативность персонала;
- маркетинговая деятельность;
- оснащенность техническими средствами;
- квалификация персонала;
- корпоративная культура;

- репутация Компании.

В результате анализа результатов парных сравнений построена структурная схема, показывающих степень влияния факторов на объемы продаж (рис. 7.1).

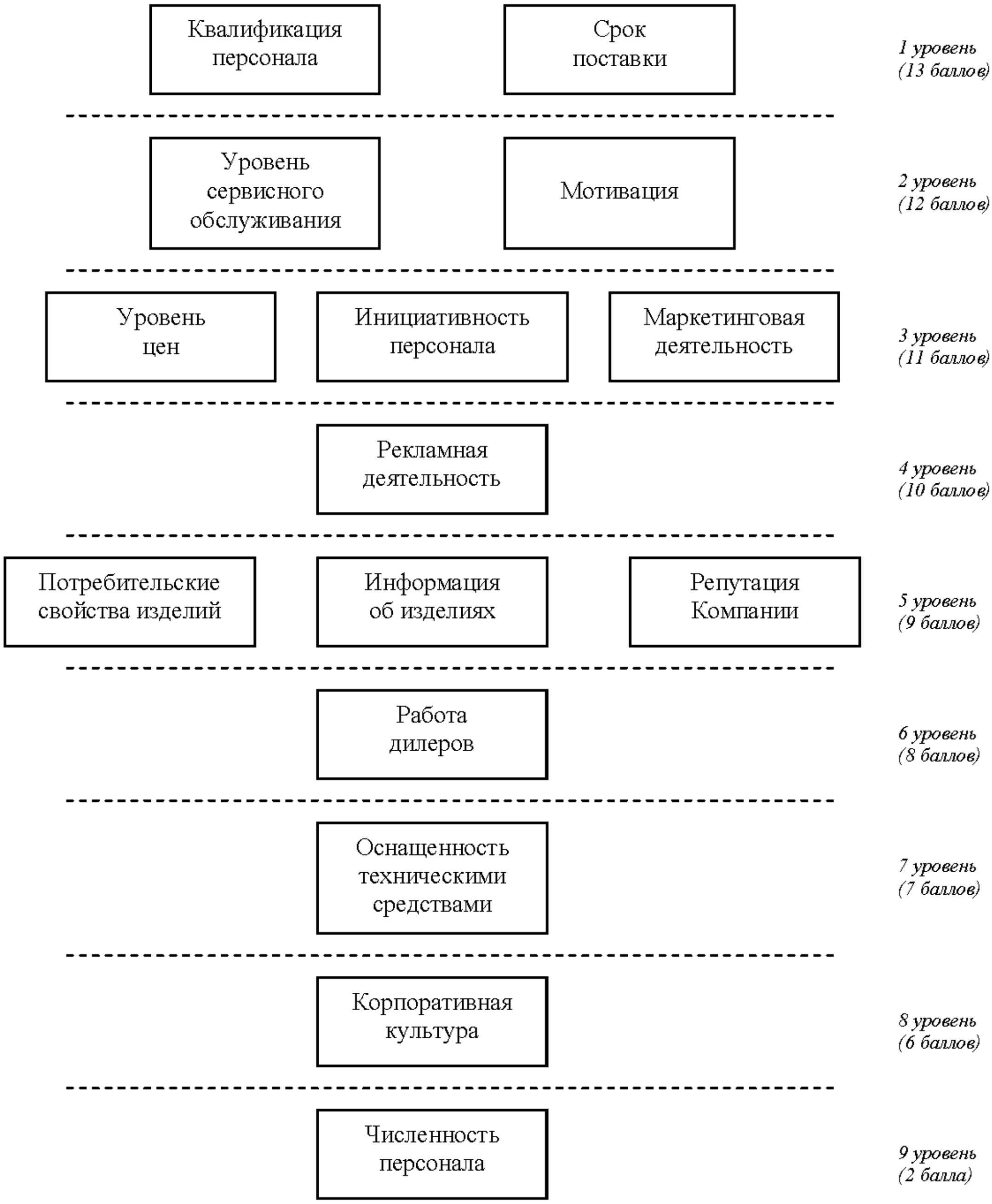


Рис. 7.1. Распределение факторов по их значимости

Наибольшую значимость на сегодняшний день имеет срок поставки продукции и квалификация персонала. Меняются подходы к продвижению товаров на рынке. Ранее успешно применяемые способы продаж (почтовая рассылка рекламы, участие в специализированных выставках, публикации в газетах и специализированных изданиях, конференции и т.д.) сегодня требуют иного качественного подхода. Срок поставки продукции, как правило, связан с производственно-технологическим циклом изготовления и настройки изделий. Мотивация труда, равно как и уровень гарантийного и сервисного обслуживания, имеют также большое значение. Разрабатывается и утверждается новая система оплаты труда, которая позволяет устранить возникающие противоречия. Отдел сервисного обслуживания гаражного оборудования должен разработать концепцию развития сервисной сети с целью наиболее полного удовлетворения потребителя, а значит и завоевания преимуществ в конкурентной борьбе.

Среди проблем более низкого уровня значимости необходимо отметить место корпоративной культуры. Понимание и осознание себя, как части сплоченного коллектива — сложный процесс. Достижение синергетического эффекта возможно только в коллективе, в котором отдельный сотрудник понимает и делает свою работу через понимание целей и задач всей Компании. Формированию корпоративной культуры следует уделить особое внимание.

Проведенный анализ дает возможность Компании сосредоточить свои усилия на наиболее важных на данный момент обозначенных проблемах. Выбор пути решения каждой из них определяется возможностями Компании и опытом руководителей.

Вероятностное моделирование парных сравнений. Опишем общую модель парных сравнений (см., например, [29], [4, гл. 5]).

Пусть t объектов $A_1, A_2, \ldots, A_t$ сравниваются попарно каждым из n экспертов. Следовательно, возможных пар для сравнения имеется $s = t(t-1)/2$. Эксперт с номером γ делает r_γ повторных сравнений для каждой из s возможностей. Пусть $X(i, j, \gamma, \delta)$, $i, j = 1, 2, \ldots, t$, $i \neq j$, $\gamma = 1, 2, \ldots, n$; $\delta = 1, 2, \ldots, r_\gamma$, — случайная величина, принимающая значения 1 или 0 в зависимости от того, предпочитает ли эксперт γ объект A_i или объект A_j в δ-м сравнении двух объектов. Обычно принимают, что все сравнения проводятся независимо друг от друга, так что случайные величины $X(i, j, \gamma, \delta)$ независимы в совокупности, если не считать того, что $X(i, j, \gamma, \delta) + X(j, i, \gamma, \delta) = 1$. Положим:

$$P(X(i, j, \gamma, \delta) = 1) = \pi(i, j, \gamma, \delta).$$

Ясно, что описанная модель парных сравнений представляет собой частный случай люсиана (в другой терминологии — бернуллиевского вектора).

В этой модели число наблюдений равно числу неизвестных параметров, поэтому для получения статистических выводов необходимо наложить те или иные априорные условия на $\pi(i,j,\gamma,\delta)$, например:

- $\pi(i,j,\gamma,\delta)=\pi(i,j,\gamma)$ (нет эффекта от повторений);
- $\pi(i,j,\gamma,\delta)=\pi(i,j)$ (нет эффекта от повторений и от экспертов).

Теорию независимых парных сравнений целесообразно разделить на две части — непараметрическую, в которой статистические задачи ставятся непосредственно в терминах $\pi(i,j,\gamma,\delta)$, и параметрическую, в которой вероятности $\pi(i,j,\gamma,\delta)$ выражаются через меньшее число иных параметров. Ряд результатов непараметрической теории парных сравнений непосредственно вытекает из теории люсианов.

В параметрической теории парных сравнений наиболее популярна линейная модель, в которой предполагается, что каждому объекту A_i можно сопоставить некоторую «ценность» V_i так, что вероятность предпочтения $\pi(i,j)$ (т.е. предполагается дополнительно, что эффект от повторений и от экспертов отсутствует) выражается следующим образом:

$$\pi(i,j)=H(V_i-V_j), \tag{7.42}$$

где $H(x)$ — функция распределения, симметричная относительно 0, т.е.

$$H(-x)=1-H(x) \tag{7.43}$$

при всех x.

Широко применяются модели Терстоуна — Мостеллера и Брэдли — Терри, в которых $H(x)$ — соответственно функции нормального и логистического распределений. С прикладной точки зрения эти две модели практически совпадают. Действительно, поскольку функция $\Phi(x)$ стандартного нормального распределения с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1 и функция:

$$\Psi(x)=e^x(1+e^x)^{-1}$$

стандартного логистического распределения удовлетворяют соотношению [4, гл. 5]:

$$\sup_{x\in R^1}|\Phi(x)-\Psi(1{,}7x)|<0{,}01,$$

то для обоснованного выбора по статистическим данным между моделями Терстоуна — Мостеллера и Брэдли — Терри необходимо не менее тысячи наблюдений. Ясно, что при реальном проведении экспертного опроса число наблюдений по крайней мере на порядок меньше.

Соотношение (7.42) вытекает из следующей модели поведения эксперта: он измеряет «ценность» V_i и V_j объектов A_i и A_j, но с ошибками ε_i и ε_j соответственно, а затем сравнивает свои оценки ценности объектов $y_i = V_i + \varepsilon_i$ и $y_j = V_j + \varepsilon_j$. Если $y_i > y_j$, то он предпочитает A_i, в противном случае — A_j. Тогда

$$\pi(i, j) = P(\varepsilon_i - \varepsilon_j < V_i - V_j) = H(V_i - V_j). \qquad (7.44)$$

Обычно предполагают, что субъективные ошибки эксперта ε_i и ε_j независимы и имеют одно и то же непрерывное распределение. Тогда функция распределения $H(x)$ из соотношения (7.44) непрерывна и удовлетворяет функциональному уравнению (7.43).

Пример. При опросе экспертов попарно сравнивались четыре компании ТНК, Лукойл, Юкос, Татнефть, продающие автомобильное топливо. Сравнение проводилось по качеству бензина. При t = 4 пар для сравнения имеется $s = t(t-1)/2$ = 6. Результаты парных сравнений приведены в табл. 7.8. По ним необходимо определить взаимное положение четырех компаний на оси «качество бензина», т.е. найти их «ценности» V_1, V_2, V_3, V_4.

Таблица 7.8

Сравнение компаний по качеству бензина

Пары	**Частота выбора первого элемента пары**	**Частота выбора второго элемента пары**
ТНК — Лукойл	$\pi(1, 2) = 0{,}508$	$\pi(2, 1) = 0{,}492$
ТНК — Юкос	$\pi(1, 3) = 0{,}331$	$\pi(3, 1) = 0{,}669$
ТНК — Татнефть	$\pi(1, 4) = 0{,}990$	$\pi(4, 1) = 0{,}010$
Лукойл — Юкос	$\pi(2, 3) = 0{,}338$	$\pi(3, 2) = 0{,}662$
Лукойл — Татнефть	$\pi(2, 4) = 0{,}990$	$\pi(4, 2) = 0{,}010$
Юкос — Татнефть	$\pi(3, 4) = 0{,}997$	$\pi(4, 3) = 0{,}003$

Применим модель Терстоуна — Мостеллера, согласно которой погрешности мнений экспертов ε_i являются независимыми нормально распределенными случайными величинами с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2.

Легко видеть, что «ценности» V_1, V_2, V_3, V_4 измерены в шкале интервалов. Начало координат можно выбрать произвольно, поскольку вероятности результатов сравнения зависят только от попарных разностей «ценностей» V_1, V_2, V_3, V_4. Например, можно положить $V_4 = 0$. Единицу измерения также можно выбрать произвольно. При изменении единицы измерения меняется σ^2, точнее, единица измерения однозначно связана с величиной σ. Дисперсия разности ε_i — ε_j равна $2\sigma^2$. В соответствии с формулой (7.44) удобно выбрать единицу измерения так, чтобы $2\sigma^2 = 1$, т.е. $\sigma = 1/\sqrt{2}$. Тогда H в формуле (7.44) — это функция Φ стандартного нормального распределения с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

В соответствии с (7.44) имеем систему шести уравнений с тремя неизвестными:

$$\Phi\,(V_1 - V_2) = \pi\,(1, 2) = 0{,}508,$$
$$\Phi\,(V_1 - V_3) = \pi\,(1, 3) = 0{,}331,$$
$$\Phi\,(V_1) = \pi\,(1, 4) = 0{,}990,$$
$$\Phi\,(V_2 - V_3) = \pi\,(2, 3) = 0{,}338,$$
$$\Phi\,(V_2) = \pi\,(2, 4) = 0{,}990,$$
$$\Phi\,(V_3) = \pi\,(3, 4) = 0{,}997.$$

Применяя к каждому их этих уравнений преобразование Φ^{-1}, получаем систему шести линейных уравнений с тремя неизвестными:

$$V_1 - V_2 = a_1 = \Phi^{-1}(0{,}508) = 0{,}020054,$$
$$V_1 - V_3 = a_2 = \Phi^{-1}(0{,}331) = -0{,}437154,$$
$$V_1 = a_3 = \Phi^{-1}(0{,}990) = 2{,}326348,$$
$$V_2 - V_3 = a_4 = \Phi^{-1}(0{,}338) = -0{,}417928,$$
$$V_2 = a_5 = \Phi^{-1}(0{,}990) = 2{,}326348,$$
$$V_3 = a_6 = \Phi^{-1}(0{,}997) = 2{,}747781.$$

(Значения Φ^{-1} взяты из табл. 1.3 сборника [8].)

В полученной системе число уравнений больше числа неизвестных, т.е. система переопределена. Дальнейшие расчеты могут проводиться разными способами. Простейший из них стоят в том, чтобы выбрать три уравнения, а именно, третье, пятое и шестое, которые и дают искомые значения:

$$V_1 = V_2 = 2{,}326348,\ V_3 = 2{,}747781.$$

Таким образом, качество бензина лучше всего у Юкоса, оно несколько хуже у ТНК и Лукойла, одинаковых по этому показателю, а Татнефть значительно хуже тройки лидеров. Можно показать, что если модель Терстоуна — Мостеллера верна и число экспертов достаточно велико, то отбрасывание «лишних» уравнений является корректным способом обработки экспертных данных, поскольку дает состоятельные оценки «ценностей» $V_1, V_2, ..., V_n$.

Однако ясно, что при отбрасывании трех уравнений из шести часть информации теряется. Например, первое уравнение показывает, что по мнению экспертов качество бензина у ТНК несколько лучше, у Лукойла. Поэтому целесообразно применить метод наименьших квадратов для оценивания V_1, V_2, V_3, V_4. А именно, рассмотрим функцию трех переменных:

$$f(V_1, V_2, V_3) = (V_1 - V_2 - a_1)^2 + (V_1 - V_3 - a_2)^2 + (V_1 - a_3)^2 + \\ + (V_2 - V_3 - a_4)^2 + (V_2 - a_5)^2 + (V_3 - a_6)^2.$$

Оценки по методу наименьших квадратов — это результат минимизации функции $f(V_1, V_2, V_3)$ по совокупности переменных V_1, V_2, V_3. Для минимизации этой функции достаточно приравнять 0 частные производные этой функции по V_1, V_2, V_3. Имеем:

$$\frac{\partial f}{\partial V_1} = 2(V_1 - V_2 - a_1) + 2(V_1 - V_3 - a_2) + 2(V_1 - a_3),$$
$$\frac{\partial f}{\partial V_2} = -2(V_1 - V_2 - a_1) + 2(V_2 - V_3 - a_4) + 2(V_2 - a_5),$$
$$\frac{\partial f}{\partial V_3} = -2(V_1 - V_3 - a_2) - 2(V_2 - V_3 - a_4) + 2(V_3 - a_6).$$

Приравнивая частные производные 0, деля на 2, раскрывая скобки и перенося свободные члены в правую часть, получаем систему трех линейных уравнений с тремя неизвестными:

$$3V_1 - V_2 - V_3 = a_1 + a_2 + a_3,$$
$$-V_1 + 3V_2 - V_3 = -a_1 + a_4 + a_5,$$
$$-V_1 - V_2 + 3V_3 = -a_2 - a_4 + a_6.$$

Решение этой системы не представляет трудностей.

Вообще говоря, не всегда сравниваемые объекты можно представить точками на прямой, т.е. не всегда их можно линейно упорядочить. Возможно, более соответствует данным опроса экспертов представление объектов точками на плоскости или в пространстве большей размерности. В статистике парных сравнений [29] разработаны методы проверки адекватности модели Терстоуна — Мостеллера и других параметрических моделей. Для этого обычно используются критерии типа хи-квадрат.

Разработано много интересных и полезных методов анализа результатов парных сравнений [30, 31]. Во многих областях прикладной статистики и, в частности, при анализе мнений экспертов полезна теория несмещенных оценок [32].

Контрольные вопросы и задачи

1. В чем состоит «турнирный» метод ранжирования вариантов?
2. Как связаны случайные толерантности и нечеткие толерантности?
3. Какие задачи проверки статистических гипотез рассматривают в теории случайных толерантностей.
4. Проверка гипотез согласованности, однородности и независимости в теории люсианов.
5. Вероятностно-статистические методы классификации люсианов.
6. В теории люсианов (раздел 7.4) выведите из общего вида несмещенной оценки многочлена от p по результатам m независимых испытаний Бернулли с вероятностью успеха p в каждом (формула (7.35)) несмещенную оценку в случае $f(p) = 2p(1 - p)$ (формула (7.36)).
7. Выпишите несмещенную оценку для функции $f(p) = p^3 - 3p^2 + 2p$, где p — параметр биномиального распределения.

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Рассчитайте мощность статистик W и N, рассматриваемых в теории равномерно распределенных случайных толерантностей.
2. Изучите распределение при альтернативах статистики T, используемой для проверки однородности двух групп люсианов (при безграничном росте объемов групп).
3. Несмещенные оценки в прикладной статистике.
4. Применение метода проверки гипотез по совокупности малых выборок в задачах обнаружения эффекта и проверки однородности.

5. По данным примера в разделе 7.5 найдите методом наименьших квадратов взаимное положение четырех нефтяных компаний на оси «качество бензина», т.е. найдите их «ценности» V_1, V_2, V_3, V_4.

6. Классификация мнений экспертов и проверка согласованности мнений экспертов, выраженных люсианами.

7. Использование люсианов в теории и практике экспертных оценок.

Литература

1. *Орлов, А.И.* Теоретическое обоснование «турнирного» метода ранжирования вариантов / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 2005. — Т. 71. — № 7. — С. 60–61.

2. *Файн, В.Б.* «Турнирный» метод ранжирования вариантов / В.Б. Файн, М.В. Дель // Заводская лаборатория. — 2005. — Т. 71. — № 7. — С. 58–60.

3. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

4. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

5. *Орлов, А.И.* Методы оценки близости допредельных и предельных распределений статистик / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1998. — Т. 64. — № 5. — С. 64–67.

6. *Кендэл, М.* Ранговые корреляции / М. Кендэл. — Москва : Статистика, 1975. — 216 с.

7. *Маамяги, А.В.* Некоторые задачи статистического анализа классификаций / А.В. Маамяги. — Таллинн : АН ЭССР, 1982. — 24 с.

8. *Большев, Л.Н.* Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. — 3-е изд. — Москва : Наука, 1983. — 474 с.

9. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

10. *Крамер, Г.* Математические методы статистики / Г. Крамер. — Москва : Мир, 1975. — 648 с.

11. *Уилкс, С.* Математическая статистика / С. Уилкс. — Москва : Наука, 1967. — 632 с.

12. *Кендалл, М.Дж.* Статистические выводы и связи / М.Дж. Кендалл, А. Стьюарт. — Москва : Наука, 1973. — 900 с.

13. *Орлов, А.И.* Парные сравнения в асимптотике Колмогорова / А.И. Орлов // Экспертные оценки в задачах управления. — Москва : Изд-во Института проблем управления АН СССР, 1982. — С. 58–66.

14. *Орлов, А.И.* Статистика объектов нечисловой природы и экспертные оценки / А.И. Орлов // Вопросы кибернетики. Вып. 58. Экспертные оценки. — Москва : Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1979. — С. 17–33.

15. *Орлов, А.И.* Случайные множества с независимыми элементами (люсианы) и их применения / А.И. Орлов // Алгоритмическое и программное обеспечение прикладного статистического анализа : сборник статей. Т. 36. — Москва : Наука, 1980. — С. 287–308. — (Ученые записки по статистике).

16. *Рыданова, Г.В.* Некоторые вопросы статистического анализа случайных бинарных векторов : специальность 01.01.05 : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Рыданова Галина Всеволодовна. — Москва : Изд-во МГУ, 1987. — 139 с.

17. Кинетотопография в диагностике инфаркта миокарда / Г.А. Аксенова, Е.С. Кузьмина, А.И. Орлов, Н.К. Розова // Актуальные вопросы клинической и экспериментальной медицины. — Москва : 4-е Главное Управление при Минздраве СССР, 1979. — С. 24–26.

18. Кинетокардиография в определении зон асинергии у больных инфарктом миокарда / В.Г. Попов, Г.А. Аксенова, А.И. Орлов [и др.] // Клиническая медицина. — 1982. — Т. LX. — № 3. — С. 25–30.

19. Методические рекомендации по проведению экспертной оценки планируемых и законченных научных работ в области медицины (по проблемам союзного значения) / составители Г.В. Раушенбах, О.В. Филиппов. — Москва : АМН СССР — Ученый медицинский совет Минздрава СССР, 1982. — 36 с.

20. *Леман, Э.* Проверка статистических гипотез / Э. Леман. — Москва : Наука, 1979. — 408 с.

21. *Боровков, А.А.* Математическая статистика : учебное пособие для вузов / А.А. Боровков. — Москва : Наука, 1984. — 472 с.

22. *Лумельский, Я.П.* Статистические оценки результатов контроля качества / Я.П. Лумельский. — Москва : Изд-во стандартов, 1979. — 200 с.

23. *Любищев, А.А.* Дисперсионный анализ в биологии / А.А. Любищев. — Москва : Изд-во МГУ, 1986. — 200 с.

24. *Дылько, Т.Н.* Проверка гипотез в экспертном оценивании / Т.Н. Дылько // Вестник Белорусского государственного университета. — Сер. 1. Физика, математика и механика. — 1988. — № 2. — С. 36–40.

25. *Орлов, А.И.* Метрика подобия: аксиоматическое введение, асимптотическая нормальность / А.И. Орлов, Г.В. Раушенбах // Статистические методы

оценивания и проверки гипотез : межвузовский сборник научных трудов. — Пермь : Изд-во ПГНИУ, 1986. — С. 148–157.

26. Рекомендации. Прикладная статистика. Методы обработки данных. Основные требования и характеристики / А.И. Орлов, Н.Г. Миронова, В.Н. Фомин, А.Н. Черчинцев. — Москва : ВНИИ стандартизации Госстандарта СССР, 1987. — 62 с.

27. *Тюрин, Ю.Н.* К проблеме обработки рядов ранжировок / Ю.Н. Тюрин, А.П. Василевич // Статистические методы анализа экспертных оценок. Т. 29. — Москва : Наука, 1977. — С. 96–111. — (Ученые записки по статистике)

28. *Орлов, А.И.* Некоторые вероятностные вопросы теории классификации / А.И. Орлов // Прикладная статистика. Т. 45. — Москва : Наука, 1983. — С. 166–179. — (Ученые записки по статистике)

29. *Дэвид, Г.* Метод парных сравнений / Г. Дэвид. — Москва : Статистика, 1978. — 144 с.

30. *Саати, Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — Москва : Радио и связь, 1993. — 364 с.

31. *Пригарина, Т.А.* Анализ нечисловой информации / Т.А. Пригарина, П.Ю. Чеботарев, Д.С. Шмерлинг // Математические методы в социально-экономических исследованиях. — Санкт-Петербург : Петрополис, 1996. — С. 123–138.

32. *Воинов, В.Г.* Несмещенные оценки и их применения / В.Г. Воинов, М.С. Никулин. — Москва : Наука, 1989. — 440 с.

33. *Орлов, А.И.* Теория люсианов / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 101. — С. 275–304.

34. *Орлов, А.И.* Метод проверки гипотез по совокупности малых выборок и его применение в теории статистического контроля / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 104. — С. 38–52.

ГЛАВА 8. ТЕОРИЯ НЕЧЕТКОСТИ И ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ

В 1965 г. в журнале «Информация и управление» появилась статья Лотфи А. Заде, профессора информатики Калифорнийского Университета в Беркли, специалиста по теории управления сложными системами [1]. Она называлась странно: *«Fuzzy Sets»*. Второе слово этого названия переводится с английского языка привычным математическим термином «множества», а вот первое никогда до тех пор в кибернетической литературе не использовалось. Согласно словарю, *«fuzz»* — пух, пушинка, *«fuzzy»* — пушистый. На русский язык термин *«fuzzy»* переводят по-разному: нечеткий, размытый, расплывчатый, реже — туманный, пушистый и т.п.

За прошедшие десятилетия «пушистой» тематике посвящены тысячи статей и книг. Появилось новое направление в математической кибернетике — теория нечетких множеств (теория нечеткости). Выходит ряд международных научных журналов, проводятся конференции, в том числе и в нашей стране. Много исследований посвящено нечеткой логике. Основной отечественный журнал по ней называется «Нечеткие системы и мягкие вычисления».

В настоящей главе показано, почему необходимо учитывать нечеткость при описании мышления и восприятия человека и как это можно делать при разработке и применении экспертных технологий.

8.1. Основы методологии нечеткости

Что такое «Куча»? Знаменитый софизм «Куча» обсуждали еще древнегреческие философы. Вот как можно его изложить: «Одно зерно не составляет кучу. Если к тому, что не оставляет кучи, добавить одно зерно то куча не получится. Следовательно, никакое количество зерен не составляет кучу».

Рассуждение соответствует известному по курсу средней школы принципу математической индукции. База индукции — это утверждение: «Одно зерно не составляет кучу». Индуктивный переход: «Если к тому, что не оставляет кучи, добавить одно зерно то куча не получится». И заключение: «Совокупность n зерен не составляет кучу при любом n». Другими словами: «Никакое количество зерен не составляет кучу».

Полученное утверждение явно нелепо: каждый согласится, что 100 млн зерен пшеницы — довольно большая куча (объемом около 6 м^3). Как же возникает столь абсурдный вывод?

Прежде всего вдумаемся: о чем говорит этот софизм? В нем обсуждаются два понятия — «несколько зерен» и «куча» — и показывается, что граница между ними в мышлении людей и в отражающем это мышление естественном языке (русском, английском, китайском, любом другом) нечетка, размыта.

В самом деле, разве можно указать такое число N, что совокупность из N зерен — уже куча, а из (N – 1) зерна — еще нет? Можете ли вы допустить, что 325 647 зерен не образуют кучу, а 325 648 — образуют? Конечно, указание точной границы здесь бессмысленно. Вы попросту не сможете различить эти две совокупности зерен.

Вообразите теперь, что проводится специальная серия опытов: большому числу людей предлагают наборы из n зерен и спрашивают: «Это куча?» И пусть никто не уклоняется от ответа!

Что будет происходить? При малом n все единодушны: «Нет, это не куча, это всего лишь несколько зерен». При многих миллионах зерен все тоже будут едины в своем мнении: «Это куча». А при промежуточных значениях n мнения могут разделиться – одни выскажутся за «кучу», другие против.

Результаты описанного эксперимент допускает плодотворную интерпретацию: каждому числу зерен n можно сопоставить число p_n — долю опрошенных, которые считают n зерен кучей. С такой точки зрения понятие «куча» описывается не одним числом — границей между «несколькими зернами» и «кучей», а последовательностью p_n, $n = 1, 2, ...$, члены которой равны нулю при малых n и единице — при больших.

Софизм «Куча» обсуждал замечательный французский математик Эмиль Борель [2]. Именно он предложил описывать понятие «куча» последовательностью p_n, $n = 1, 2, ...$, и указал способ получения этой последовательности с помощью массового опроса. Исходил Э. Борель из глубокого анализа понятия физической непрерывности, выполненного великим математиком и физиком Анри Пуанкаре [3]. В частности, Пуанкаре писал: «...Непосредственные результаты опыта могут быть выражены следующими соотношениями:

$$A = B,\ B = C,\ A < C,$$

которые можно рассматривать как формулу физической непрерывности. Эта формула заключает в себе недопустимое разногласие с законом противоречия; необходимость избежать его и заставила нас изобрести идею математической непрерывности» [3, с. 28].

Поясним мысль Пуанкаре. Пусть $A(n)$ — гиря весом в n г. Пусть эксперт сравнивает две гири «вручную», т.е. не используя весов. Очевидно, эксперт не в состоянии уловить разницу в 1 г, поэтому естественно ожидать, что мнение эксперта будет выражено последовательностью равенств:

$$A(1\,000) = A(1\,001),\ A(1\,001) = A(1\,002),\ ...,\ A(1\,999) = A(2\,000).$$

Вместе с тем гири весом в 1 кг и в 2 кг эксперт сможет различить наверняка, так что по его мнению:

$$A(1\,000) < A(2\,000).$$

Очевидно, два заключения одного и того же эксперта противоречат друг другу. В выводах эксперта нарушается транзитивность. Наблюдаем парадокс того же типа, что и софизм «Куча». Сказанное показывает, что процесс математического моделирования процессов измерений, в том числе получения экспертных мнений, нетривиален.

Стоит отметить, что понятие «куча» размыто не только для совокупности людей, но и для отдельно взятого человека. Представьте себе, что вам предъявляют один за другим наборы зерен, спрашивая: «Это куча?» Что вы будете отвечать? При малом числе зерен — «нет», при большом — «да», а при промежуточном станете колебаться. Если экспериментатор настойчив, он вытянет у вас ответ типа: «Это скорее куча, чем несколько зерен». А если он убедительно потребует от вас оценить числом степень вашей уверенности, то добьется чего-нибудь вроде: «Семьдесят пять шансов из ста за то, что это куча». В итоге ваше личное мнение будет выражено последовательностью p_n, $n = 1, 2, ...$, того же типа, что и мнение большой совокупности экспертов.

Мы мыслим нечетко. Понятия, используемые людьми, отнюдь не всегда легко выразить числами. Например, что такое «оранжевый цвет»? Казалось бы, ответить на этот вопрос нетрудно — достаточно указать на шкале электромагнитных волн границы, между которыми лежит оранжевый цвет. В «Малой Советской Энциклопедии» (1930 г.) даже указаны конкретные числа: 589 мкм — грань оранжевого и золотисто-желтого, 656 мкм — красного и оранжевого.

Но подумайте сами: неужели вы сможете ощутить разницу в цвете при переходе на 1 мкм — от 655,5 мкм (оранжевый цвет) к 656,5 мкм (красный). Конечно, нет.

Размыты не только представления о цветах. Представьте себе, например, множество петухов. Представили? А теперь скажите: относится ли к нему леденцовый петушок на деревянной палочке? Задумались, не так ли? Вот и здесь расплывчатость...

Описанные ситуации типичны. Понятия естественного языка, с помощью которого мы общаемся друг с другом, как правило, размыты.

Нечеткость свойственна не только естественному языку, но и диалектам науки. Возьмем для примера физику. Зададимся вопросом: можно ли указать длину предмета (для определенности в метрах) с точностью до тридцатого знака после запятой? Вещество состоит из атомов, атомы из электронов, протонов и нейтронов. Можно ли указать абсолютно точно положение электрона? В квантовой механике есть замечательное утверждение — принцип неопределенности: произведение неопределенности в определении импульса частицы на неопределенность в определении ее положения всегда больше вполне определенной величины — постоянной Планка. Импульс электрона в атоме не может достигать сколь угодно высоких значений (импульс — это произведение скорости на массу; скорость не превосходит скорости света, масса электрона известна). Таким образом, неопределенность импульса ограничена. Стало быть, неопределенность в положении электрона всегда больше некоторой величины — примерно 10^{-10} метра. Иными словами, неустранимая неточность подстерегает нас уже в десятом знаке после запятой, так что о тридцатом не может быть и речи. Отсюда недалеко до вывода: длину любого тела следует задавать не одним определенным числом, а совокупностью чисел с размытыми границами, т.е. нечетким множеством.

Бытует мнение, что непогрешимой четкостью отличается язык математики. Однако это не так. Например, мы уже не раз употребляли слово «множество». Это фундаментальное понятие лежит в основе современной математики. Существует математическая теория множеств. Как и во всякой математической теории, все ее положения базируются на системе аксиом. Эту систему можно строить по-разному. Выражаясь языком специалистов, теория множеств может быть аксиоматизирована различными способами. В получающихся при этом разновидностях теории множеств некоторые выводы оказываются прямо противоположными. Возьмем для примера так называемую континуум-гипотезу. При одних аксиоматизациях она верна, при других — верно ее отрицание.

Что же говорить о других менее точных науках? Автору настоящего учебника в свое время пришлось столкнуться с таким любопытным фактом: по определению одной группы медиков «затяжное течение острой пневмонии» имеет место в шести случаях из ста, по мнению другой — в шестидесяти. Различие в 10 раз!

В подобных ситуациях возникает естественное желание навести четкость в понятиях и представлениях. Однако часто разные группы и даже отдельные лица понимают термины по-своему, например, как в только что приведенном примере с термином «затяжное течение острой пневмонии». Удастся ли договориться? Кроме того, в наведении четкости есть своя мера и своя опасная грань, за которой излишняя четкость становится вредной.

Например, при проведении некоторых социологических и экспертных исследований интересуются мнениями опрашиваемых, не учитывая, что эти мнения весьма нечетки или еще не сформировались. Вот вопросы одной, взятой наугад, анкеты: «Что прежде всего необходимо вам для счастья? Иметь интересную работу? Пользоваться уважением окружающих? Любить и быть любимым?

Иметь много денег? Приносить пользу людям?» Сумеете ли вы с абсолютной уверенностью выбрать одну и только одну позицию из перечня? Ведь организаторы опроса настаивают на четкости. С расчетом на нее обычно и составляются анкеты. (Вспомним — ведь и мы, проводя мысленный опрос по поводу софизма «Куча», запрещали уклоняться от ответа на вопрос: «Это куча?» — и требовали отвечать либо «да», либо «нет».) И опрашивающие сами уже стараются сформулировать свое мнение поотчетливее. Однако эти мнения зачастую имеют довольно слабую связь с реальными представлениями людей, что порою приводит к существенным ошибкам в прогнозировании на основе подобных социологических или экспертных данных.

Разумно ли в таких ситуациях добиваться предельной четкости? Взвешивая этот вопрос, обратимся еще раз к математике. Как мы видели, даже в ней нет окончательной ясности с некоторыми важными понятиями. Между тем математики в массе своей применяют эти понятия весьма широко и обычно довольно успешно — эффективность математических методов в самых различных сферах знания и практической деятельности общеизвестна. Точно также естественный язык используется без особых затруднений, несмотря на свою нечеткость.

Итак, мы мыслим нечетко, и это нам не мешает. Более того, именно нечеткость мыслей и слов позволяет нам понимать друг друга, приходить к соглашению и действовать совместно. Только представьте, что было бы, если бы постоянно приходилось уточнять используемые в разговоре слова! Иногда приходится это делать — и тогда появляются огромные тексты договоров и инструкций. Стандартная инструкция к мобильному телефону занимает больше 200 страниц — кто же ее полностью прочитает, прежде чем сделает звонок...

Мы убедились, что, во-первых, мышлению человека органически присуща нечеткость, а во-вторых, эта нечеткость ничуть не зазорна: она естественна. Значит, при разработке математических моделей мышления и поведения человека надо учитывать эту нечеткость — игнорировать ее нельзя! Необходим соответствующий математический аппарат, моделирующий нечеткость восприятия, познания и принятия решений.

Но какие математические понятия следует при этом применять?

В основании современной математики, как уже говорилось, лежит понятие множества. Чтобы задать то или иное конкретное множество предметов (объектов, элементов), надо относительно каждого предмета уметь ответить на вопрос: «Принадлежит данный предмет данному множеству или не принадлежит?» Но мы уже видели, что границы понятий, как правило, размыты, так что четкий ответ на подобный вопрос возможен далеко не всегда. Значит, для описания нечеткости надо взять за основу понятие множества, несколько отличающееся от привычного, более широкое, чем оно.

8.2. Нечеткие множества

Чтобы определить нечеткое множество, надо прежде всего задать совокупность всех тех элементов, для которых имеет смысл говорить о мере их принадлежности рассматриваемому нечеткому множеству. Эта совокупность называется универсальным множеством. Например, для «кучи» — это множество натуральных чисел, для описания цветов — отрезок шкалы электромагнитных волн, соответствующий видимому свету.

Пусть A — некоторое универсальное множество. Подмножество B множества A характеризуется своей характеристической функцией:

$$\mu_B(x)=\begin{cases}1, & x\in B,\\ 0, & x\notin B.\end{cases} \tag{8.1}$$

Что такое нечеткое множество? Обычно говорят, что нечеткое подмножество C множества A характеризуется своей функцией принадлежности $\mu_C : A \to [0,1]$. Значение функции принадлежности в точке x показывает степень принадлежности этой точки нечеткому множеству. Нечеткое множество описывает неопределенность, соответствующую точке x — она одновременно и входит, и не входит в нечеткое множество C. За вхождение — $\mu_c(x)$ шансов, за второе — $(1 - \mu_c(x))$ шансов.

Если функция принадлежности $\mu_C(x)$ имеет вид (8.1) при некотором B, то C есть обычное (четкое) подмножество A. Таким образом, теория нечетких множество является не менее общей математической дисциплиной, чем обычная теория множеств, поскольку обычные множества — частный случай нечетких. Соответственно можно ожидать, что теория нечеткости как целое обобщает классическую математику. Однако позже мы увидим, что теория нечеткости в определенном смысле сводится к теории случайных множеств и тем самым является частью классической математики. Другими словами, по степени общности обычная математика и нечеткая математика эквивалентны. Однако для практического применения в теории принятия решений описание и анализ неопределенностей с помощью теории нечетких множеств весьма плодотворны.

Обычное подмножество можно было бы отождествить с его характеристической функцией. Этого математики не делают, поскольку для задания функции (в ныне принятом подходе) необходимо сначала задать множество. Нечеткое же подмножество с формальной точки зрения можно отождествить с его функцией принадлежности. Однако термин «нечеткое подмножество» предпочтительнее при построении математических моделей реальных явлений.

Теория нечеткости является обобщением интервальной математики, в которой для описания реальных объектов вместо чисел используются интервалы. Действительно, функция принадлежности:

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a,b], \\ 0, & x \notin [a,b] \end{cases}$$

задает интервальную неопределенность — про рассматриваемую величину известно лишь, что она лежит в заданном интервале [a, b]. Тем самым описание неопределенностей с помощью нечетких множеств является более общим, чем с помощью интервалов.

Начало современной теории нечеткости положено работой 1965 г. американского ученого азербайджанского происхождения Л.А. Заде. Основные определения, алгоритмы расчетов и выражающие их свойства теоремы приведены ниже. Рассуждения древнегреческих философов, Пуанкаре и Бореля обосновывают методологию теорию нечеткости, но как математическая дисциплина она началась с работы Заде. Как уже отмечалось, к настоящему времени по теории нечеткости опубликованы тысячи книг и статей, издается несколько международных журналов, выполнено достаточно много как теоретических, так и прикладных работ. В нашей стране концепция Заде активно обсуждалась еще в 1960–1970-е гг., однако первая книга российского автора по теории нечеткости вышла лишь в 1980 г. [4]. Это была наша книга «Задачи оптимизации и нечеткие переменные».

Л.А. Заде рассматривал теорию нечетких множеств как аппарат анализа и моделирования гуманистических систем, т.е. систем, в которых участвует человек. Его подход опирается на предпосылку о том, что элементами мышления человека являются не числа, а элементы некоторых нечетких множеств или классов объектов, для которых переход от «принадлежности» к «непринадлежности» не скачкообразен, а непрерывен. В настоящее время методы теории нечеткости используются почти во всех прикладных областях, в том числе при управлении предприятием, качеством продукции и технологическими процессами. Нет необходимости связывать теорию нечеткости только с гуманистическими системами.

Л.А. Заде использовал термин *«fuzzy set»* (нечеткое множество). На русский язык термин «fuzzy» переводили как нечеткий, размытый, расплывчатый, и даже как пушистый и туманный. Заде использовал термины «теория нечетких множеств» и «нечеткая логика». Мы предпочитаем говорить о теории нечеткости. Термин «нечеткая логика» не является синонимом к термину «теория нечеткости», поскольку логика — это наука о мышлении человека, а теория нечеткости применяется не только для моделирования мышления. Нечеткая логика — это часть теории нечеткости.

Аппарат теории нечеткости довольно громоздок. В качестве примера дадим определения теоретико-множественных операций над нечеткими множествами. Пусть C и D — два нечетких подмножества универсального множества A с функциями принадлежности $\mu_C(x)$ и $\mu_D(x)$ соответственно. Пересечением $C \cap D$, произведением CD, объединением $C \cup D$, отрицанием $\overline{C}$, суммой $C + D$ называются нечеткие подмножества A с функциями принадлежности:

$$\mu_{C \cap D}(x) = \min(\mu_C(x), \mu_D(x)), \quad \mu_{CD}(x) = \mu_C(x)\mu_D(x), \quad \mu_{\overline{C}}(x) = 1 - \mu_C(x),$$

$$\mu_{C \cup D}(x) = \max(\mu_C(x), \mu_D(x)), \quad \mu_{C+D}(x) = \mu_C(x) + \mu_D(x) - \mu_C(x)\mu_D(x), \quad x \in A,$$

соответственно.

Как уже отмечалось, теория нечетких множеств в определенном смысле сводится к теории вероятностей, а именно, к теории случайных множеств. Соответствующий цикл теорем приведен ниже. Однако при решении прикладных задач вероятностно-статистические методы и методы теории нечеткости обычно рассматриваются как различные.

Для знакомства со спецификой нечетких множеств рассмотрим некоторые их свойства.

В дальнейшем считаем, что все рассматриваемые нечеткие множества являются подмножествами одного и того же множества Y.

Законы де Моргана для нечетких множеств. Как известно, законами де Моргана называются следующие тождества алгебры множеств:

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}, \quad \overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}. \tag{8.2}$$

Теорема 8.1. Для нечетких множеств справедливы тождества:

$$\overline{A \bigcup B} = \overline{A} \bigcap \overline{B}, \quad \overline{A \bigcap B} = \overline{A} \bigcup \overline{B}, \tag{8.3}$$

$$\overline{A + B} = \overline{A}\overline{B}, \quad \overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}. \tag{8.4}$$

Доказательство теоремы 8.1 состоит в непосредственной проверке справедливости соотношений (8.3) и (8.4) путем вычисления значений функций принадлежности участвующих в этих соотношениях нечетких множеств на основе определений, данных выше.

Тождества (8.3) и (8.4) назовем *законами де Моргана для нечетких множеств*. В отличие от классического случая соотношений (8.2), они состоят из четырех тождеств, одна пара которых относится к операциям объединения и пересечения, а вторая — к операциям произведения и суммы. Как и соотношение (8.2) в алгебре множеств, законы де Моргана в алгебре нечетких множеств позволяют преобразовывать выражения и формулы, в состав которых входят операции отрицания.

Дистрибутивный закон для нечетких множеств. Некоторые свойства операций над множествами не выполнены для нечетких множеств. Так, $A + A \neq A$, за исключением случая, когда A — «четкое» множество (т.е. функция принадлежности принимает только значения 0 и 1).

Верен ли дистрибутивный закон для нечетких множеств? В литературе иногда расплывчато утверждается, что «не всегда». Внесем полную ясность.

Теорема 8.2. Для любых нечетких множеств A, B и C:

$$A \bigcap (B \bigcup C) = (A \bigcap B) \bigcup (A \bigcap C). \tag{8.5}$$

В то же время равенство:

$$A(B + C) = AB + AC \tag{8.6}$$

справедливо тогда и только тогда, когда при всех $y \in Y$:

$$(\mu_A^2(y) - \mu_A(y))\mu_B(y)\mu_C(y) = 0.$$

Доказательство. Фиксируем произвольный элемент $y \in Y$. Для сокращения записи обозначим $a = \mu_A(y), b = \mu_B(y), c = \mu_C(y)$. Для доказательства тождества (8.5) необходимо показать, что

$$\min(a, \max(b, c)) = \max(\min(a, b), \min(a, c)). \tag{8.7}$$

Рассмотрим различные упорядочения трех чисел *a*, *b*, *c*. Пусть сначала $a \le b \le c$. Тогда левая часть соотношения (8.7) есть $\min(a, c) = a$, а правая $\max(a, a) = a$, т.е. равенство (8.7) справедливо.

Пусть $b \le a \le c$. Тогда в соотношении (8.7) слева стоит $\min(a, c) = a$, а справа $\max(b, a) = a$, т.е. соотношение (8.7) опять является равенством.

Если $b \le c \le a$, то в соотношении (8.7) слева стоит $\min(a, c) = c$, а справа $\max(b, c) = c$, т.е. обе части снова совпадают.

Три остальные упорядочения чисел *a*, *b*, *c* разбирать нет необходимости, поскольку в соотношение (8.6) числа *b* и *c* входят симметрично. Тождество (8.5) доказано.

Второе утверждение теоремы 8.2 вытекает из того, что в соответствии с определениями операций над нечеткими множествами:

$$\mu_{A(B+C)}(y) = a(b + c - bc) = ab + ac - abc$$

и

$$\mu_{AB+AC}(y) = ab + ac - (ab)(ac) = ab + ac - a^2bc.$$

Эти два выражения совпадают тогда и только тогда, когда $a^2bc = abc$, что и требовалось доказать.

Определение 8.1. Носителем нечеткого множества *A* называется совокупность всех точек $y \in Y$, для которых $\mu_A(y) > 0$.

Следствие теоремы 8.2. Если носители нечетких множеств *B* и *C* совпадают с *У*, то *равенство (8.6) имеет место тогда и только тогда, когда A* — «четкое» (т.е. обычное, классическое, не нечеткое) множество.

Доказательство. По условию $\mu_B(y)\mu_C(y) \ne 0$ при всех $y \in Y$. Тогда из теоремы 8.2 следует, что $\mu_A^2(y) - \mu_A(y) = 0$, т.е. $\mu_A(y) = 1$ или $\mu_A(y) = 0$, что и означает, что *A* — четкое множество.

Пример описания неопределенности с помощью нечеткого множества. Понятие «богатый» часто используется при обсуждении социально-экономических проблем, в том числе и в связи с подготовкой и принятием решений. Однако очевидно, что разные лица вкладывают в это понятие различное содержание. Сотрудники Института высоких статистических технологий и эконометрики провели социологическое исследование представления различных слоёв населения о понятии «богатый человек».

Мини-анкета опроса выглядела так:

1. При каком месячном доходе (в млн руб. на одного человека) Вы считали бы себя богатым человеком?

2. Оценив свой сегодняшний доход, к какой из категорий Вы себя относите:

а) богатые;

б) достаток выше среднего;

в) достаток ниже среднего;

г) бедные;

д) за чертой бедности?

(В дальнейшем вместо полного наименования категорий будем оперировать буквами, например «в» — категория, «б» — категория и т.д.)

3. Ваша профессия, специальность.

Всего было опрошено 74 человека, из них 40 — научные работники и преподаватели, 34 человека — не занятых в сфере науки и образования, в том числе 5 рабочих и 5 пенсионеров. Из всех опрошенных только один (!) считает себя богатым. Несколько типичных ответов научных работников и преподавателей приведено в табл. 8.1, а аналогичные сведения для работников коммерческой сферы — в табл. 8.2.

Таблица 8.1

Типичные ответы научных работников и преподавателей

Ответы на вопрос 3	Ответы на вопрос 1, млн руб./чел.	Ответы на вопрос 2	Пол
Кандидат наук	1	д	ж
Преподаватель	1	в	ж
Доцент	1	б	ж
Учитель	10	в	м
Старший научный сотрудник	10	д	м
Инженер-физик	24	д	ж
Программист	25	г	м
научный работник	45	г	м

Таблица 8.2

Типичные ответы работников коммерческой сферы

Ответы на вопрос 3	Ответы на вопрос 1	Ответы на вопрос 2	Пол
Вице-президент банка	100	а	ж
Зам. директора банка	50	б	ж
Начальник кредитного отдела	50	б	м
Начальник отдела ценных бумаг	10	б	м
Главный бухгалтер	20	д	ж
Бухгалтер	15	в	ж
Менеджер банка	11	б	м
Начальник отдела проектирования	10	в	ж

Разброс ответов на первый вопрос — от 1 до 100 млн руб. в месяц на человека. Результаты опроса показывают, что критерий богатства у финансовых работников в целом несколько выше, чем у научных (см. гистограммы на рис. 8.1 и рис. 8.2 ниже).

Опрос показал, что выявить какое-нибудь конкретное значение суммы, которая необходима «для полного счастья», пусть даже с небольшим разбросом, нельзя, что вполне естественно. Как видно из таблиц 8.1 и 8.2, денежный эквивалент богатства колеблется от 1 до 100 млн руб. в месяц. Подтвердилось мнение, что работники сферы образования в подавляющем большинстве причисляют свой достаток к категории «в» и ниже (81 % опрошенных), в том числе к категории «д» отнесли свой достаток 57 %.

Со служащими коммерческих структур и бюджетных организаций иная картина: «г» — категория 1 человек (4 %), «д» — категория 4 человека (17 %), «б» — категория — 46 % и 1 человек «а» — категория.

Пенсионеры, что не вызывает удивления, отнесли свой доход к категории «д» (4 человека), и лишь один человек указал «г» — категорию. Рабочие же ответили так: 4 человека — «в», и один человек — «б».

Для представления общей картины в табл. 8.3 приведены данные об ответах работников других профессий.

Таблица 8.3

Типичные ответы работников различных профессий

Ответы на вопрос 3	Ответы на вопрос 1	Ответы на вопрос 2	Пол
Работник торговли	1	б	ж
Дворник	2	в	ж
Водитель	10	в	м

Ответы на вопрос 3	Ответы на вопрос 1	Ответы на вопрос 2	Пол
Военнослужащий	10	в	м
Владелец бензоколонки	20	б	ж
Пенсионер	6	д	ж
Начальник фабрики	20	б	м
Хирург	5	в	м
Домохозяйка	10	в	ж
Слесарь-механик	25	в	м
Юрист	10	б	м
Оператор ЭВМ	20	д	м
Работник собеса	3	д	ж
Архитектор	25	б	ж

Прослеживается интересное явление: чем выше планка богатства для человека, тем к более низкой категории относительно этой планки он себя относит.

Для сводки данных естественно использовать гистограммы. Для этого необходимо сгруппировать ответы. Использовались 7 классов (интервалов):

1 — до 5 млн руб. в месяц на человека (включительно);

2 — от 5 до 10 млн;

3 — от 10 до 15 млн;

4 — от 15 до 20 млн;

5 — от 20 до 25 млн;

6 — от 25 до 30 млн;

7 — более 30 млн.

(Во всех интервалах левая граница исключена, а правая, наоборот — включена.)

Сводная информация представлена на рис. 8.1 (для научных работников и преподавателей) и рис. 8.2 (для всех остальных, т.е. для лиц, не занятых в сфере науки и образования — служащих иных бюджетных организаций, коммерческих структур, рабочих, пенсионеров).

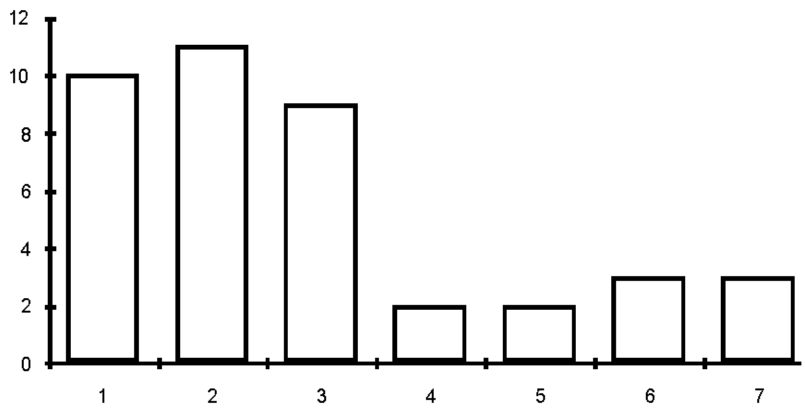


Рис. 8.1. Гистограмма ответов на вопрос 1
для научных работников и преподавателей (40 человек)

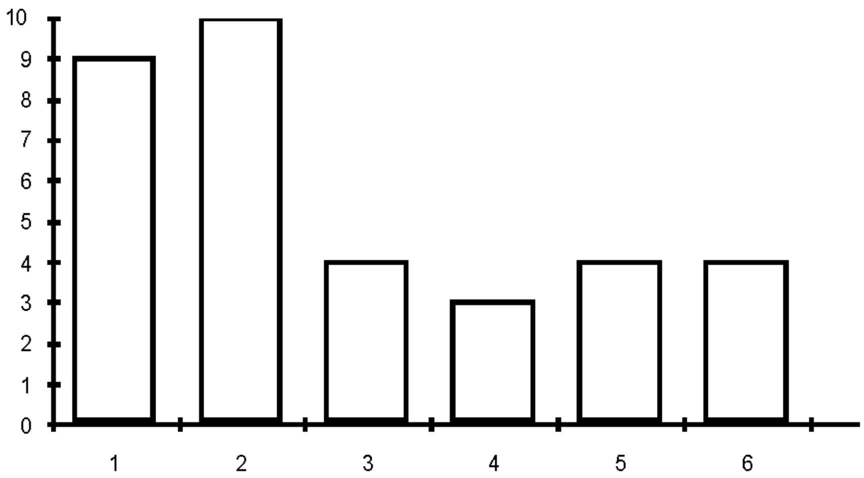


Рис. 8.2. Гистограмма ответов на вопрос 1 для лиц,
не занятых в сфере науки и образования (34 человека)

Для двух выделенных групп, а также для некоторых подгрупп второй группы рассчитаны сводные средние характеристики — выборочные средние арифметические, медианы, моды. При этом медиана группы — количество млн руб., названное центральным по порядковому номеру опрашиваемым в возрастающем ряду ответов на вопрос 1, а мода группы — интервал, на котором столбик гистограммы — самый высокий, т.е. в него «попало» максимальное количество опрашиваемых. Результаты приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Сводные средние характеристики ответов на вопрос 1 для различных групп (в млн руб. в мес. на чел.)

Группа опрошенных	**Среднее арифметическое**	**Медиана**	**Мода**
Научные работники и преподаватели	11,66	7,25	(5; 10)
Лиц, не занятых в сфере науки и образования	14,4	10	(5; 10)
Служащие коммерческих структур и бюджетных организаций	17,91	10	(5; 10)
Рабочие	15	13	–
Пенсионеры	10,3	10	–

Построим нечеткое множество, описывающее понятие «богатый человек» в соответствии с представлениями опрошенных. Для этого составим табл. 8.5 на основе рис. 8.1 и рис. 8.2 с учетом размаха ответов на первый вопрос.

Таблица 8.5

Число ответов, попавших в интервалы

№	**Номер интервала**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	Интервал, млн руб. в месяц	(0; 1)	[1; 5]	(5; 10]	(10; 15]	(15; 20]	(20; 25]	(25; 30]	(30; 100)	[100; +∞)
2	Число ответов в интервале	0	19	21	13	5	6	7	2	1
3	Доля ответов в интервале	0	0,257	0,284	0,176	0,068	0,081	0,095	0,027	0,013
4	Накопленное число ответов	0	19	40	53	58	64	71	73	74
5	Накопленная доля ответов	0	0,257	0,541	0,716	0,784	0,865	0,960	0,987	1,000

Пятая строка табл. 8.5 задает функцию принадлежности нечеткого множества, выражающего понятие «богатый человек» в терминах его ежемесячного дохода. Это нечеткое множество является подмножеством множества из 9 интервалов, заданных в строке 2 табл. 8.5. Или множества из 9 условных номеров {0, 1, 2, ..., 8}. Эмпирическая функция распределения, построенная по выборке из ответов 74 опрошенных на первый вопрос мини-анкеты, описывает понятие «богатый человек» как нечеткое подмножество положительной полуоси.

О разработке методики ценообразования на основе теории нечетких множеств. Для оценки значений показателей, не имеющих количественной оценки, можно использовать методы нечетких множеств. Например, П.В. Битюков применял нечеткие множества при моделировании задач ценообразования на электронные обучающие курсы, используемые при дистанционном обучении [5]. Им было проведено исследование значений фактора «Уровень качества курса» с использованием нечетких множеств. В ходе практического использования предложенной П.В. Битюковым методики ценообразования значения ряда других факторов могут также определяться с использованием теории нечетких множеств. Например, ее можно использовать для определения прогноза рейтинга специальности в вузе с помощью экспертов, а также значений других факторов, относящихся к группе «Особенности курса». Опишем подход П.В. Битюкова как пример практического использования теории нечетким множеств.

Значение оценки, присваиваемой каждому интервалу для фактора «Уровень качества курса», определяется на универсальной шкале [0, 1], где необходимо разместить значения лингвистической переменной «Уровень качества курса»: НИЗКИЙ, СРЕДНИЙ, ВЫСОКИЙ. Степень принадлежности некоторого значения вычисляется как отношение числа ответов, в которых оно встречалось в определенном интервале шкалы, к максимальному (для этого значения) числу ответов по всем интервалам.

В ходе работы над диссертацией был проведен опрос экспертов о степени влияния уровня качества электронных курсов на их потребительную ценность. Каждому эксперту в процессе опроса предлагалось оценить с позиции потребителя ценность того или иного класса курсов в зависимости от уровня качества. Эксперты давали свою оценку для каждого класса курсов по 10-ти балльной шкале (где 1 — *min*, 10 — *max*). Для перехода к универсальной шкале [0, 1], все значения 10-ти балльной шкалы оценки ценности были разделены на максимальную оценку 10.

Используя свойства функции принадлежности, необходимо предварительно обработать данные с тем, чтобы уменьшить искажения, вносимые опросом. Естественными свойствами функций принадлежности являются наличие одного максимума и гладкие, затухающие до нуля фронты. Для обработки статистических данных можно воспользоваться так называемой матрицей подсказок. Предварительно удаляются явно ошибочные элементы. Критерием удаления служит наличие нескольких нулей в строке вокруг этого элемента.

Элементы матрицы подсказок вычисляются по формуле:

$$k_j = \sum_{i=1}^{n} b_{ij},\ j = \overline{1,n},$$

где b_{ij} — элемент таблицы с результатами анкетирования, сгруппированными по интервалам. Матрица подсказок представляет собой строку, в которой выбирается максимальный элемент: $k_{\max} = \max\limits_j k_j$, и далее все ее элементы преобразуются по формуле:

$$c_{ij} = \frac{b_{ij} k_{\max}}{k_j},\ i = \overline{1,m},\ j = \overline{1,n}.$$

Для столбцов, где $k_j = 0$, применяется линейная аппроксимация:

$$c_{ij} = \frac{c_{ij-1} + c_{ij+1}}{2},\ i = \overline{1,m},\ j = \overline{1,n}.$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу, на основании которой строятся функции принадлежности. Для этого находятся максимальные элементы по строкам: $c_{i\max} = \max_j c_{ij}, i = \overline{1,m}, j = \overline{1,n}$. Функция принадлежности вычисляется по формуле: $\mu_{ij} = c_{ij} / c_{i\max}$. Результаты расчетов приведены в табл. 8.6.

Таблица 8.6

Значения функции принадлежности лингвистической переменной

μ_i	Интервал на универсальной шкале									
	0,1	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1,0**
μ_1	0	0,2	1	1	0,89	0,67	0	0	0	0
μ_2	0	0	0	0	0	0,33	1	1	0	0
μ_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

На рис.8.3 сплошными линиями показаны функции принадлежности значений лингвистической переменной «Уровень качества курса» после обработки таблицы, содержащей результаты опроса. Как видно из графика, функции принадлежности удовлетворяют описанным выше свойствам. Для сравнения пунктирной линией показана функция принадлежности лингвистической переменной для значения НИЗКИЙ без обработки данных.

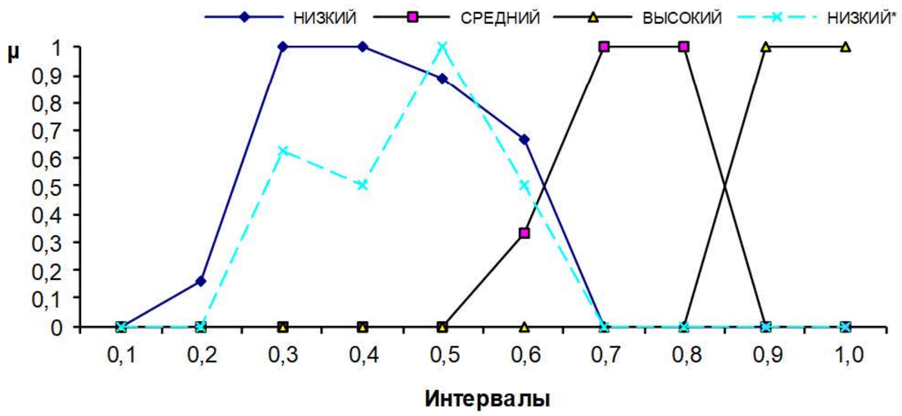


Рис. 8.3. График функций принадлежности значений лингвистической переменной «Уровень качества курса»

Удвоение математики. Поскольку теория множеств — основа современной математики, понятие нечеткости позволяет «удвоить математику»: заменяя обычные множества нечеткими, мы можем каждому математическому объекту (понятию, термину) поставить в соответствие его нечеткий аналог. Рассматривают, например, нечеткие классификации, упорядочения, логики, теоремы, алгоритмы, правила принятия решений и т.д., и т.п. Чтобы это перечисление не выглядело для неискушенного читателя просто набором слов, разберем несколько примеров.

Первым в нашем списке упомянуты классификации. Под классификацией имеется в виду разбиение совокупности элементов на классы — группы сходных между собой элементов. В четкой классификации каждый элемент относится к одному определенному классу. А в размытой — задается функция принадлежности элемента различным классам. Расплывчатая классификация обычно больше соответствует реальности, чем строгая.

Представьте себе — идет вам навстречу человек. Лишь в редких случаях вы с уверенностью скажете: «Это блондин». Чаще о цвете волос придется высказаться уклончиво: «Скорее шатен, чем брюнет». Так что, признайтесь, классификация встречных по цвету волос у вас нечеткая. Поэтому пушистые классификации надо изучать — этим и занимается соответствующая часть туманной математики.

Пример нечеткого упорядочения нетрудно найти в магазине, присмотревшись к поведению нерешительного покупателя. Надо приобрести часы, да вот какие? И «Слава» нравится, и «Ракета» современна. Другими словами, и «Слава» на сколько-то процентов привлекательна, и «Ракета» — тут и появляются функции принадлежности марок часов к множеству привлекательных. А ведь сравнивать можно по многим критериям — по внешнему виду, по цене, по надежности и т.д. Для каждого критерия — своя туманность, нужно эти расплывчатости сводить вместе, чтобы принять решение — покупать или не покупать... А для описания всего этого надо развивать математическую теорию нечетких упорядочений, принятия расплывчатых решений... Проблема выбора в условиях нечеткости рассмотрена в последнем разделе настоящей главы.

А что такое нечеткая логика? С позиций обычной логики утверждения бывают либо истинные, либо ложные. А в размытой логике — утверждения в какой-то степени истинны, а в какой-то — ложны. Присмотритесь к себе — очень многое, что вы говорите и думаете, имеет лишь относительную истинность. Например, вы сказали: «Вчера я хорошо поработал». Сразу возникают вопросы: «А разве нельзя было поработать еще лучше? Что значит — хорошо?» Согласитесь: ваши слова истинны не на сто процентов. И подобное можно сказать не только по части житейских высказываний, но и относительно утверждений науки.

Вот, скажем, как выглядит нечеткий аналог теоремы о том, что три медианы треугольника пересекаются в одной точке:

«Пусть АВ, ВС и СА — примерно прямые линии, которые образуют примерно треугольник с вершинами А, В и С. Пусть M_1, M_2, M_3 — примерно середины сторон ВС, СА и АВ соответственно. Тогда примерно прямые линии AM_1,

BM_2 и CM_3 образуют примерно треугольник $T_1T_2T_3$, который более или менее мал относительно треугольника ABC» [6, с. 137–138].

Конечно, эта формулировка становится разумной только после того, как будет точно определен смысл слов «примерно» и «более или менее мал». Вот как, скажем, можно уточнить понятие «примерно отрезок AB»: под ним будем пони мать любую кривую, проходящую через точки A и B, такую, что расстояние (в обычном смысле) от любой точки кривой до отрезка AB мало по отношению к длине AB. Остается выяснить, что значит «мало». Ответ может даваться нечетким множеством со своей функцией принадлежности.

Нечеткие алгоритмы — тоже не экзотика. Многие инструкции в какой-то мере расплывчаты. Беря поваренную книгу, любая хозяйка знает: чтобы блюдо удалось, к печатным рецептам надо добавить свою интерпретацию, а также смекалку и удачу. Если же поручить роботу готовить суп, то придется нечеткие слова естественного языка определять с помощью функций принадлежности. Значит, нужна соответствующая математическая теория — теория нечетких алгоритмов.

Продолжать можно без конца. «Удвоение математики» — настоятельная необходимость. Однако «скоро сказка сказывается, да нескоро дело делается». Теория нечеткости молода. Всего лишь сорок с небольшим лет! Миг по сравнению с двадцатью пятью веками геометрии!

Тем не менее, несмотря на свою молодость, нечеткая математика уже находит успешные приложения.

Польза нечеткости. Поскольку размытость свойственна самому восприятию и мышлению человека, теория нечеткости используется прежде всего в науках, изучающих эти стороны человеческой натуры: в психологии, в социологии, в исследовании операций... Зачастую в ходе социологических и экспертных опросов человеку легче сформулировать свое мнение расплывчато, а не предельно четко, и размытый ответ является к тому же более адекватным. Поэтому создаются методы сбора и анализа нечеткой информации.

Пример — система управления рыбным промыслом. Исходная информация — сообщения с судов и мнения экспертов. Они нечетки: в таком-то квадрате количество рыбы оценивается величиной между таким-то нижним и таким-то верхним пределами, суда стоит направить туда-то, и т.д. По этим данным согласно алгоритмам нечеткой математики производится оптимизация в расплывчатых условиях. И затем выдается четкий приказ: каким судам куда идти. (Результат его выполнения — количество выловленной рыбы — разумеется, нельзя предсказать точно: нечеткость исходной информации не устраняется четкостью приказа.)

Аппарат теории нечеткости оказался полезным в самых разных прикладных областях — в химической технологии и в медицине, при управлении движением автотранспорта и в экономической географии, в теории надежности и при контроле качества продукции.

Группа химиков во главе с академиком В.В. Кафаровым изучала процессы, протекающие в ванне стекловаренной печи при производстве листового стекла [7]. Основное при этом — исследовать распределение поля температур в бассейне ванны. Можно то делать в классическом стиле, рассматривая дифференциальное уравнение в частных производных, которому удовлетворяет поле температур. Уравнение это можно решить хорошо известным среди специалистов методом Фурье. Но пушистые химики предлагают другой подход. В соответствии с ним приращение температуры при переходе от одной точки бассейна печи к другой является нечетким. Химики рассчитали поле температур размытым методом и сравнили свои результаты с числами, полученными по методу Фурье. Относительное расхождение не превышало 6 %, что считается пренебрежимо малым в этой области. Но счет на компьютере занял в 5–6 раз меньше машинного времени.

Парадокс теории нечеткости. В концепции размытости есть свой подход к познанию мира, к построению математических моделей реальных явлений. Хочется во всем увидеть нечеткость и смоделировать эту нечеткость подходящим расплывчатым объектов.

Мы уже рассмотрели много примеров, когда такой подход разумен и полезен. Возникает искушение провозгласить тезис: «Все в мире нечетко». Он выглядит особенно привлекательно в связи с большой вредностью излишней, обманчивой четкости. Но можно ли этот тезис провести последовательно?

Вспомним: нечеткое множество задается функцией принадлежности. Обратим внимание на аргумент и на значение этой функции. Четкие это объекты или размытые? Тезис «все в мире нечетко» наталкивает на мысль, что они расплывчаты.

Действительно, вспомним наши примеры — скажем, софизм «Куча». Сначала поговорим про аргумент функции, т.е. про число зерен, относительно которых решается вопрос: «Куча это или не куча?» Число зерен в достаточно большой совокупности — разве может оно быть известно абсолютно точно? Как ни считай зерна — вручную, на вес, автоматически — всегда возможны ошибки (человек может ошибиться, автомат — сломаться...). Или пройдемся по остальным примерам — всюду то же самое.

А теперь — о значении функции принадлежности. Оно уж тем более нечетко! Мнение человека — разве имеет смысл выражать его хотя бы с тремя значащими цифрами? В социологии общепринято, что человек в словесных оценках обычно не может различить больше трех, в лучшем случае — шести градаций (эти величины вытекают и из математической модели, разработанной в [8]). Отсюда можно вывести с помощью соответствующего расчета, что функция принадлежности, отражающее мнение одного человека, может быть определена лишь с точностью 0,17–0,33. Так что мнение отдельного лица следовало бы выразить не тонкой кривой — графиком функции, а довольно широкой полосой. Если же функция принадлежности строится как среднее (среднее арифметическое или медиана) индивидуальных мнений, то и тогда ее значения известны отнюдь не абсолютно точно из-за того, что опрашиваемая совокупность людей обычно не включает и малой доли тех, кого можно было опросить. И только если значения функции принадлежности определяются по аналитическим формулам, они известны абсолютно точно. Но тогда возникает законный вопрос: насколько обоснованы сами эти формулы? Обычно оказывается, что обоснование у них довольно слабое...

Каков итог? И аргумент, и значение функции принадлежности, как правило, необходимо считать нечеткими.

Что же из этого следует? Начнем опять с аргумента. Он сам является не строго определенной величиной, а некоторым нечетким множеством величин, значит, описывается некоторой функцией принадлежности — задается каким-то своим аргументом. А этот новый аргумент — он ведь тоже нечеток! Опять появляется функция принадлежности — с каким-то третьим аргументом. И так далее.

Остановимся ли мы когда-либо на этом пути? Если остановимся, то должны будем использовать четкие значения аргумента — а это противоречит тезису «все в мире нечетко». В соответствии с эти тезисом четкие значения фиктивны, им ничто в мире не соответствует. Если же не остановимся, то получим бесконечную последовательность нечетких моделей, в которой из каждого размытого множества, как из матрешки, вылезает новая расплывчатость. Возможны ли при этом обоснованные расчеты?

Далее, значение функции принадлежности также необходимо считать нечетким. Л.А. Заде разработал аппарат пушистых множеств с размытыми функциями принадлежности, благоразумно не вдаваясь при этом в рассуждения о том, на каком же шагу считать функции принадлежности четкой.

Итак, основной парадокс теории нечеткости состоит в том, что привлекательный тезис «все в мире нечетко» невозможно последовательно раскрыть в рамках математических моделей. Конечно, описанный парадокс не мешает успешно использовать расплывчатую математику в конкретных приложениях. Из него вытекает лишь необходимость указывать и обсуждать границы ее применимости.

8.3. О статистике нечетких множеств

Обсудим некоторые вопросы статистического анализа нечетких данных. Нечеткие множества — частный вид объектов нечисловой природы. Поэтому при обработке выборки, элементами которой являются нечеткие множества, могут быть использованы различные методы анализа статистических данных произвольной природы — расчет средних, непараметрических оценок плотности, построение диагностических правил и т.д. [9, 10].

Среднее значение нечеткого множества. Однако иногда используются методы, учитывающие специфику нечетких множеств. Например, пусть универсальным множеством для рассматриваемого нечеткого множества является конечная совокупность действительных чисел $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$. Тогда под средним значением нечеткого множества иногда понимают число. А именно, среднее значение нечеткого множества определяют по формуле:

$$M(A)=\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i)},$$

где $\mu_A(x_i)$ — функция принадлежности нечеткого множества A. Если знаменатель равен 1, то эта формула определяет математическое ожидание случайной величины, для которой вероятность попасть в точку x_i равна $\mu_A(x_i)$. Такое определение наиболее естественно, когда нечеткое множество A интерпретируется как нечеткое число.

Очевидно, наряду с $M(A)$ может оказаться полезным использование эмпирических средних, определяемых (согласно статистике в пространствах произвольной природы [9, 10]) путем решения соответствующих оптимизационных задач. Для конкретных расчетов необходимо ввести то или иное расстояние между нечеткими множествами.

Расстояния в пространствах нечетких множеств. Как известно, многие методы статистики нечисловых данных базируются на использовании расстояний (или показателей различия) в соответствующих пространствах нечисловой природы. Расстояние между нечеткими подмножествами *A* и *B* множества $X = \{x_1, x_2, ..., x_k\}$ можно определить как

$$d(A,B) = \sum_{j=1}^{k} | \mu_A(x_j) - \mu_B(x_j) |,$$

где $\mu_A(x_j)$ — функция принадлежности нечеткого множества *A*, а $\mu_B(x_j)$ — функция принадлежности нечеткого множества *B*. Может использоваться и другое расстояние:

$$D(A,B) = \frac{\sum_{j=1}^{k} | \mu_A(x_j) - \mu_B(x_j) |}{\sum_{j=1}^{k} (\mu_A(x_j) + \mu_B(x_j))}.$$

(Примем это расстояние равным 0, если функции принадлежности тождественно равны 0.)

В соответствии с аксиоматическим подходом к выбору расстояний (метрик) в пространствах нечисловой природы разработан обширный набор систем аксиом, из которых выводится тот или иной вид расстояний (метрик) в конкретных пространствах, в том числе в пространствах нечетких множеств (см. раздел 6.3). При использовании вероятностных моделей расстояние между случайными нечеткими множествами (т.е. между случайными элементами со значениями в пространстве нечетких множеств) само является случайной величиной, имеющей в ряде постановок асимптотически нормальное распределение [11].

Проверка гипотез о нечетких множествах. Пусть ответ эксперта — нечеткое множество. Естественно считать, что его ответ, как показание любого средства измерения, содержит погрешности. Если есть несколько экспертов, то в качестве единой оценки (группового мнения) естественно взять эмпирическое среднее их ответов. Но возникает естественный вопрос: действительно ли все эксперты измеряют одно и то же? Может быть, глядя на реальный объект, они оценивают его с разных сторон? Например, на научную статью можно смотреть как с теоретической точки зрения, как и с прикладной, и соответствующие оценки будут, скорее всего, различны (если они совпадают, то работа либо никуда не годится, либо является выдающейся).

Итак, возник вопрос: как проверить согласованность мнений экспертов? Надо сначала определить понятие согласованности. Пусть A — нечеткий ответ эксперта. Будем считать, что соответствующая функция принадлежности есть сумма двух слагаемых:

$$\mu_A(u) = \mu_{N(A)}(u) + \xi_A(u),$$

где $N(A)$ — «истинное» нечеткое множество, а $\xi_A(u)$ — «погрешность» эксперта как прибора. Естественно рассмотреть две постановки.

Мнения экспертов $A(1), A(2), ..., A(m)$ будем считать согласованными, если

$$N(A(1)) = N(A(2)) = \ldots, N(A(m)).$$

Рассмотрим две группы экспертов. В первой у всех «истинное» мнение $N(A)$, а во второй у всех — $N(B)$. Две группы будем считать согласованными по мнениям, если

$$N(A) = N(B).$$

Согласованность определена. Как же ее проверить? Если экспертов достаточно много, то эти гипотезы можно проверять отдельно для каждого элемента множества — общего носителя нечетких ответов. Проверка последней гипотезы переходит в проверку однородности двух независимых выборок [9, гл. 4; 10, гл. 8]. Здесь ограничимся приведенными выше постановками основных гипотез (ср. с аналогичными гипотезами, рассмотренными выше для люсианов в разд. 7.4).

Восстановление зависимости между нечеткими переменными. Рассмотрим две нечеткие переменные A и B. Пусть каждый из n испытуемых выдает в ответ на вопрос два нечетких множества A_i и B_i, $i = 1, 2, ..., n$. Необходимо восстановить зависимость B от A, другими словами, наилучшим образом приблизить B с помощью A.

Для иллюстрации основной идеи ограничимся парной линейной регрессией нечетких множеств. Нечеткое множество C назовем линейной функцией от нечеткого множества A, если для любого x из носителя A функции принадлежности множеств A и C таковы, что $\mu_C(x) = \mu_A(y)$ при $x = \alpha y + \beta$. Другими словами,

$$\mu_C(x) = \mu_A((x - \beta)/\alpha)$$

для любого x из носителя A. В таком случае естественно писать:

$$C = \alpha A + \beta.$$

Однако нечеткие переменные, как и привычные для статистиков числовые переменные, обычно несколько отклоняются от линейной связи. Наилучшее линейное приближение нечеткой переменной B с помощью линейной функции от нечеткой переменной A естественно искать, решая задачу минимизации по α, β расстояния от B до C. Пусть

$$\rho(B, \alpha_0 \mathrm{A} + \beta_0) = \min \rho(B, \alpha A + \beta),$$

где ρ — некоторое расстояние между нечеткими множествами, а минимизация проводится по всем возможным значениям α и β. Тогда наилучшей линейной аппроксимацией B является $\alpha_0\mathrm{A} + \beta_0$. Если рассматриваемый минимум равен 0, то имеет место точная линейная зависимость.

Для восстановления зависимости по выборочным парам нечетких переменных естественно воспользоваться подходом, развитым в статистике в пространствах произвольной природы для параметрической регрессии (аппроксимации). В соответствии с методами статистики нечисловых данных [9, 10] в качестве наилучших оценок параметров линейной зависимости следует рассматривать:

$$(\alpha^*, \beta^*) = Arg \min_{\alpha,\beta} \sum_{k=1}^{n} \rho(B_i, \alpha A_i + \beta)\,.$$

Тогда наилучшим линейным приближением B является $C^* = \alpha^* A + \beta^*$.

Вероятностно-статистическая теория регрессионного анализа нечетких переменных [4] строится как частный случай аналогичной теории для переменных произвольной природы [9, 10]. В частности, при обычных предположениях оценки α^*, β^* являются состоятельными, т.е. $\alpha^* \to \alpha_0$ и $\beta^* \to \beta_0$ при $n \to \infty$.

Кластер-анализ нечетких переменных. Строить группы сходных между собой нечетких переменных (кластеры) можно многими способами (см. предложения Л. Заде с соавторами в [27]). Опишем два семейства алгоритмов.

Пусть на пространстве, в котором лежат результаты наблюдений, т.е. на пространстве нечетких множеств, заданы две меры близости ρ и τ (например, это могут быть введенные выше расстояния d и D). Берется один из результатов наблюдений (нечеткое множество) и вокруг него описывается шар радиуса R, определяемый мерой близости ρ. (Напомним, что шаром с центром в x относительно ρ называется множество всех элементов y рассматриваемого пространства таких, что $\rho(x, y) \leq R$.) Берутся результаты наблюдений (элементы выборки), попавшие в этот шар, и находится их эмпирическое среднее относительно второй меры близости τ. Оно берется за новый центр, вокруг которого снова описывается шар радиуса R относительно ρ, и процедура повторяется. (Чтобы алгоритм был полностью определен, необходимо сформулировать правило выбора элемента эмпирического среднего в качестве нового центра, если эмпирическое среднее состоит более чем из одного элемента.)

Когда центр шара зафиксируется (перестанет меняться), попавшие в этот шар элементы объявляются первым кластером и исключаются из дальнейшего рассмотрения. Алгоритм применяется к совокупности оставшихся результатов наблюдений, выделяет из нее второй кластер и т.д.

Всегда ли центр шара остановится? При реальных расчетах в течение многих лет так было всегда. Соответствующая теория была построена лишь в 1978 г. [12]. Было доказано, что описанный выше процесс всегда остановится через конечное число шагов. Причем число шагов до остановки оценивается через максимально возможное число результатов наблюдений в шаре радиуса R относительно ρ.

Обширное семейство образуют алгоритмы кластер-анализа типа «Дендрограмма», известные также под названием «агломеративные иерархические алгоритмы средней связи». На первом шаге алгоритма из этого семейства каждый результат наблюдения рассматривается как отдельный кластер. Далее на каждом шагу происходит объединение двух самых близких кластеров. Название «Дендрограмма» объясняется тем, что результат работы алгоритма обычно представляется в виде дерева. Каждая его ветвь соответствует кластеру, появляющемуся на каком-либо шагу работы алгоритма. Слияние ветвей соответствует объединению кластеров, а ствол — заключительному шагу, когда все наблюдения оказываются объединенными в один кластер.

Для работы алгоритмов кластер-анализа типа «Дендрограмма» необходимо определить расстояние между кластерами. Естественно использовать ассоциативные средние, которыми, как известно, являются средние по Колмогорову всевозможных попарных расстояний между элементами двух рассматриваемых кластеров. Итак, расстояние между кластерами K и L, состоящими из n_1 и n_2 элементов соответственно, определяется по формуле:

$$\tau(K,L) = F^{-1}\left(\frac{1}{n_1 n_2}\sum_{i\in K}\sum_{j\in L}F(\rho(X_i, X_j))\right),$$

где ρ — некоторое расстояние между нечеткими множествами, F — строго монотонная функция (строго возрастающая или строго убывающая).

Соображения теории измерений позволяют ограничить круг возможных алгоритмов типа «Дендрограмма». Естественно принять, что единица измерения расстояния выбрана произвольно. Тогда измерения проводятся в шкале отношений, и согласно результатам раздела 3.4 из всех средних по Колмогорову годятся только степенные средние, т.е. $F(z) = z^\lambda$ при $\lambda \neq 0$ или $F(z) = \ln(z)$. Чтобы получить разбиение на кластеры, надо «разрезать» дерево на определенной высоте, т.е. объединять кластеры лишь до тех пор, пока расстояние между ними меньше заранее выбранной константы. При альтернативном подходе заранее фиксируется число кластеров. Рассматривают и двухкритериальную постановку, когда минимизируют сумму (или максимум) внутрикластерных разбросов и число кластеров. Для решения задачи двухкритериальной минимизации либо один из критериев заменяют ограничением, либо два критерия «свертывают» в один, либо применяют иные подходы (последовательная оптимизация, построение поверхности Парето и др.).

При классификации нечетких множеств полезны многие подходы, рассмотренные в [9, гл. 5; 10, гл. 9], а именно, все подходы, основанные только на использовании расстояний.

Сбор и описание нечетких данных. Разработано большое количество процедур описания нечеткости. Так, согласно Э. Борелю понятие «Куча» описывается с помощью функции распределения — при каждом конкретном *x* значение функции принадлежности — это доля людей, считающих совокупность из *x* зерен кучей. Результат подобного опроса может дать и кривую иного вида, например, по поводу понятия «молодой» (слева будут отделены «дети», а справа — «люди зрелого и пожилого возраста»). Нечеткая толерантность может оцениваться с помощью случайных толерантностей (см. выше разд. 7.2).

Целесообразно попытаться выделить наиболее практически полезные простые формы функций принадлежности. Видимо, наиболее простой является «ступенька» — внутри некоторого интервала функция принадлежности равна 1, а вне этого интервала равна 0. Это — простейший способ «размывания» числа путем замены его интервалом. Нечеткое множество описывается двумя числами – концами интервала. Оценки этих чисел можно получить с помощью экспертов. Статистическая теория подобных нечетких множеств, т.е. статистика интервальных данных, рассмотрена в [10, гл. 12]. При прогнозировании погоды температура обычно описывается интервалами.

Тремя числами $a < b < c$ описывается функция принадлежности типа треугольника. При этом левее числа a и правее числа c функция принадлежности равна 0. В точке b функция принадлежности принимает значение 1. На отрезке $[a; b]$ функция принадлежности линейно растет от 0 до 1, а на отрезке $[b; c]$ — линейно убывает от 1 до 0. Оценки трех чисел $a < b < c$ получают при опросе экспертов.

Следующий по сложности вид функции принадлежности — типа трапеции — описывается четырьмя числами $a < b < c < d$. Левее a и правее d функция принадлежности равна 0. На отрезке $[a; b]$ она линейно возрастает от 0 до 1, на отрезке $[b; c]$ во всех точках равна 1, а на отрезке $[c; d]$ линейно убывает от 1 до 0. Для оценивания четверки чисел $a < b < c < d$ используют экспертов.

Ряд результатов статистики нечетких данных приведен в первой монографии российского автора по нечетким множествам [4] и во многих дальнейших публикациях, в том числе в [9, 10].

8.4. Теория нечеткости как часть теории вероятностей

Под маской нечеткости — вероятность. Можно понять специалистов по нечеткой математике, отстаивающих уникальность своей научной области: психологически легче работать, когда убежден, что развиваешь совершенно новое направление. Однако объективности ради мы должны упомянуть и другое мнение, существующее среди математиков: пушистая математика — часть теории случайных множеств.

Что это такое — случайное множество? Ради ясности начнем с понятия случайной величины. Это величина, зависящая от случая, т.е. функция от элементарного исхода (события). Скажем, результат наблюдения, зависящий от случайных привходящих факторов. А случайное множество — это множество, зависящее от случая. Другими словами, функция, область определения которой — пространство элементарных событий, а область значений — совокупность множеств, например, совокупность всех подмножеств некоторого конкретного множества.

Случайные множества используются во многих прикладных задачах [8]. В монографиях [13, 14] случайные множества использовались для моделирования распространения лесных пожаров. Пусть пожар начался с загорания в определенной точке. В следующий момент времени загорятся некоторые из соседних точек. А некоторые не загорятся. Через час огнем будет охвачено некоторое множество. Форма пожара будет описываться случайным множеством, зависящим от времени.

От чего зависит форма пожара? Конечно, от того, как «устроен» лес – какие в нем породы деревьев, сколько сухостоя, есть ли естественные преграды для огня (ручьи, овраги), а также от метеорологических условий — куда дует ветер, сколько осадков выпало за последнее время, какова температура воздуха... Все эти условия неизвестны в точности наблюдателю на самолете. Поэтому для него вполне естественно моделировать распространение пожара с помощью теории вероятностей. Эти модели, разработанные на основе теории случайных множеств, находят применение в лесном хозяйстве [13, 14].

Как же теория нечетких множеств сводится к теории случайных множеств? С каждым случайным множеством можно связать некоторую функцию — вероятность того, что элемент принадлежит множеству. Эта функция обладает всеми свойствами функции принадлежности нечеткого множества. Оказывается, верно и обратное — для любого размытого множества можно подобрать случайное множество так, что вероятность принадлежности элемента случайному множеству всюду совпадает с функцией принадлежности заданного размытого множества. Подобное соответствие можно установить так, что результаты операций над множествами тоже будут соответствовать друг другу.

Есть все основания полагать, что связь между размытостью и вероятностью позволит применить в теории нечеткости методы и результаты, накопленные в теории случайных множеств. И наоборот, даст возможность перенести понятия и постановки задач из первой теории во вторую, что послужит прогрессу в обеих.

Почему же туманники (специалисты по туманным — нечетким — множествам) порою открещиваются от теории вероятностей? Одна из причин — устаревшее на три четверти века представление о математике случая, согласно которой она рассматривается как «наука о массовых явлениях»: вероятность мыслится как предел частоты, а случайное событие — как то, которое может произойти, а может не произойти. Всё это – отголоски далекого прошлого, когда теория вероятностей недостаточно отделялась от ее приложений. Ныне она опирается на четкую систему аксиом, обычно — на аксиоматику А.Н. Колмогорова. В 1933 г. им была опубликована основополагающая монография [15], заложившая научные основы современной теории вероятностей. Теоремы в ней доказываются точно так же, как и в любом другом разделе математики, без всяких ссылок на свойства реального мира. Ее выводы могут применяться при анализе весьма различных реальных явлений — как массовых, так и таких, где нет и речи о массовости и частоте. Именно таковы многие расплывчатости, «нечастотную» природу которых туманники рассматривают как причину несводимости к понятиям теории вероятностей.

Разберем подробнее связи между теорией нечеткости и теорией случайных множеств.

Нечеткие множества как проекции случайных множеств. С самого начала появления современной теории нечеткости в 1960-е гг. началось обсуждение ее взаимоотношений с теорией вероятностей. Дело в том, что функция принадлежности нечеткого множества напоминает распределение вероятностей. Отличие только в том, что сумма вероятностей по всем возможным значениям случайной величины (или интеграл, если множество возможных значений несчетно) всегда равна 1, а сумма S значений функции принадлежности (в непрерывном случае — интеграл от функции принадлежности) может быть любым неотрицательным числом. Возникает искушение пронормировать функцию принадлежности, т.е. разделить все ее значения на S (при $S \neq 0$), чтобы свести ее к распределению вероятностей (или к плотности вероятности). Однако специалисты по нечеткости справедливо возражают против такого «примитивного» сведения, поскольку оно проводится отдельно для каждой размытости (нечеткого множества), и определения обычных операций над нечеткими множествами с ним согласовать нельзя. Последнее утверждение означает следующее. Пусть указанным образом преобразованы функции принадлежности нечетких множеств A и B. Как при этом преобразуются функции принадлежности $A \cap B, A \cup B, A+B, AB$? Установить это *невозможно в принципе.* Последнее утверждение становится совершенно ясным после рассмотрения нескольких примеров пар нечетких множеств с одними и теми же суммами значений функций принадлежности, но различными результатами теоретико-множественных операций над ними, причем и суммы значений соответствующих функций принадлежности для этих результатов теоретико-множественных операций, например, для пересечений множеств, также различны.

В работах по нечетким множествам довольно часто утверждается, что теория нечеткости является самостоятельным разделом прикладной математики и не имеет отношения к теории вероятностей (см., например, обзор литературы в монографиях [4, 8]). Авторы, сравнивавшие теорию нечеткости и теорию вероятностей, обычно подчеркивали различие между этими областями теоретических и прикладных исследований. Обычно сравнивают аксиоматику и сравнивают области приложений. Надо сразу отметить, что аргументы при втором типе сравнений не имеют доказательной силы, поскольку по поводу границ применимости даже такой давно выделившейся научной области, как вероятностно-статистические методы, имеются различные мнения. Напомним, что итог рассуждений одного из наиболее известных французских математиков Анри Лебега по поводу границ применимости арифметики таков: «Арифметика применима тогда, когда она применима» (см. его монографию [16, с. 21–22]).

При сравнении различных аксиоматик теории нечеткости и теории вероятностей нетрудно увидеть, что списки аксиом различаются. Из этого, однако, отнюдь не следует, что между указанными теориями нельзя установить связь, типа известного сведения евклидовой геометрии на плоскости к арифметике (точнее к теории числовой системы R^2 — см., например, монографию [17]). Напомним, что эти две аксиоматики — евклидовой геометрии и арифметики — на первый взгляд весьма сильно различаются.

Можно понять желание энтузиастов нового направления подчеркнуть принципиальную новизну своего научного аппарата. Однако не менее важно установить связи нового подхода с ранее известными.

Как оказалось, теория нечетких множеств тесно связана с теорией случайных множеств. Еще в 1974 г. в работе [18] было показано, что нечеткие множества естественно рассматривать как «проекции» случайных множеств. Рассмотрим этот метод сведения теории нечетких множеств к теории случайных множеств.

Определение 8.2. Пусть $A = A(\omega)$ — *случайное подмножество конечного множества У.* Нечеткое множество *В*, определенное на *У*, называется проекцией *А* и обозначается *Proj A*, если

$$\mu_B(y) = P(y \in A) \tag{8.8}$$

при всех $y \in Y$.

Очевидно, каждому случайному множеству *А* можно поставить в соответствие с помощью формулы (8.8) нечеткое множество *В* = *Proj A*. Оказывается, верно и обратное.

Теорема 8.3. Для любого нечеткого подмножества B конечного множества $У$ существует случайное подмножество A множества $У$ такое, что $B = Proj\ A$.

Доказательство. Достаточно задать распределение случайного множества A. Пусть $У_1$ — носитель B (см. определение 8.1 выше). Без ограничения общности можно считать, что $Y_1 = \{y_1, y_2, ..., y_m\}$ при некотором m и элементы $У_1$ занумерованы в таком порядке, что

$$0 < \mu_B(y_1) \le \mu_B(y_2) \le ... \le \mu_B(y_m).$$

Введем множества:

$$Y(1) = Y_1, Y(2) = \{y_2, ..., y_m\}, ..., Y(t) = \{y_t, ..., y_m\}, ..., Y(m) = \{y_m\}.$$

Положим:

$$P(A = Y(1)) = \mu_B(y_1), \quad P(A = Y(2)) = \mu_B(y_2) - \mu_B(y_1), ...,$$

$$P(A = Y(t)) = \mu_B(y_t) - \mu_B(y_{t-1}), ..., P(A = Y(m)) = \mu_B(y_m) - \mu_B(y_{m-1}),$$

$$P(A = \varnothing) = 1 - \mu_B(y_m).$$

Для всех остальных подмножеств X множества $У$ положим $P(A = X) = 0$. Поскольку элемент y_t входит во множества $Y(1)$, $Y(2)$, ..., $Y(t)$ и не входит во множества $Y(t + 1)$, ..., $Y(m)$, то из приведенных выше формул следует, что $P(y_t \in A) = \mu_B(y_t)$. Если $y \notin Y_1$, то, очевидно, $P(y \in A) = 0$. Теорема 8.3 доказана.

Распределение случайного множества с независимыми элементами, как следует из рассмотрений главы 8 монографии [9], полностью определяется его проекцией. Для конечного случайного множества общего вида это не так. Для уточнения сказанного понадобится следующая теорема.

Теорема 8.4. Для случайного подмножества A множества $У$ из конечного числа элементов наборы чисел $P(A = X), X \subseteq Y$, и $P(X \subseteq A), X \subseteq Y$, выражаются один через другой.

Доказательство. Второй набор выражается через первый следующим образом:

$$P(X \subseteq A) = \sum_{X' : X \subseteq X'} P(A = X').$$

Элементы первого набора выразить через второй можно с помощью формулы включений и исключений из формальной логики, в соответствии с которой

$$P(A=X)=P(X\subseteq A)-\sum P(X\cup\{y\}\subseteq A)+\sum P(X\cup\{y_1,y_2\}\subseteq A)-\ldots\pm P(Y\subseteq A).$$

В этой формуле в первой сумме y пробегает все элементы множества $Y\backslash X$, во второй сумме переменные суммирования y_1 и y_2 не совпадают и также пробегают это множество, и т.д. Ссылка на формулу включений и исключений завершает доказательство теоремы 8.4.

В соответствии с теоремой 8.4 случайное множество A можно характеризовать не только распределением, но и набором чисел $P(X\subseteq A), X\subseteq Y$. В этом наборе $P(\varnothing\subseteq A)=1,$ а других связей типа равенств нет. В этот набор входят числа $P(\{y\}\subseteq A)=P(y\in A),$ следовательно, фиксация проекции случайного множества эквивалентна фиксации $k = Card(Y)$ параметров из (2^k-1) параметров, задающих распределение случайного множества A в общем случае. (Здесь символом $Card(Y)$ обозначено число элементов множества Y.)

Будет полезна следующая теорема.

Теорема 8.5. *Если $Proj\, A = B$, то* $\mathrm{Pr}\,oj\overline{A}=\overline{B}$.

Для доказательства достаточно воспользоваться тождеством из теории случайных множеств $P(\overline{A}=X)=P(A=\overline{X}),$ формулой для вероятности накрытия $P(y\in A)$, определением отрицания нечеткого множества и тем, что сумма всех $P(A=X)$ равна 1. При этом под формулой для вероятности накрытия имеется в виду следующее утверждение: чтобы найти вероятность накрытия фиксированного элемента q случайным подмножеством S конечного множества Q, достаточно вычислить:

$$P(q\in S)=\mathrm{P}(\{\omega: q\in S(\omega)\})=\sum_{A:q\in A,A\subseteq 2^Q}P(S=A),$$

где суммирование идет по всем подмножествам A множества Q, содержащим q.

Пересечения и произведения нечетких и случайных множеств. Выясним, как операции над случайными множествами соотносятся с операциями над их проекциями. В силу законов де Моргана (теорема 8.1) и теоремы 8.5 достаточно рассмотреть операцию пересечения случайных множеств.

Теорема 8.6. Если случайные подмножества A_1 и A_2 конечного множества $У$ независимы, то нечеткое множество $\mathrm{Pr}\,oj(A_1\cap A_2)$ является произведением нечетких множеств $Proj\, A_1$ и $Proj\, A_2$.

Доказательство. Надо показать, что для любого $y \in Y$:

$$P(y \in A_1 \cap A_2) = P(y \in A_1)P(y \in A_2). \tag{8.9}$$

По формуле для вероятности накрытия точки случайным множеством (см. выше):

$$P(y \in A_1 \cap A_2) = \sum_{X:y \in X} P((A_1 \cap A_2) = X). \tag{8.10}$$

Легко проверить, что распределение пересечения случайных множеств $A_1 \cap A_2$ можно выразить через их совместное распределение следующим образом:

$$P(A_1 \cap A_2 = X) = \sum_{X_1, X_2 : X_1 \cap X_2 = X} P(A_1 = X_1, A_2 = X_2). \tag{8.11}$$

Из соотношений (8.10) и (8.11) следует, что вероятность накрытия для пересечения случайных множеств можно представить в виде двойной суммы:

$$P(y \in A_1 \cap A_2) = \sum_{X:y \in X} \sum_{X_1, X_2 : X_1 \cap X_2 = X} P(A_1 = X_1, A_2 = X_2). \tag{8.12}$$

Заметим теперь, что правую часть формулы (8.12) можно переписать следующим образом:

$$\sum_{X_1, X_2 : e \in X_1, e \in X_2} P(A_1 = X_1, A_2 = X_2). \tag{8.13}$$

Действительно, формула (8.12) отличается от формулы (8.13) лишь тем, что в ней сгруппированы члены, в которых пересечение переменных суммирования $X_1 \cap X_2$ принимает постоянное значение. Воспользовавшись определением независимости случайных множеств и правилом перемножения сумм, получаем, что из (8.12) и (8.13) вытекает равенство:

$$P(y \in A_1 \cap A_2) = \left(\sum_{X_1 : y \in X_1} P(A_1 = X_1) \right) \left(\sum_{X_2 : y \in X_2} P(A_2 = X_2) \right).$$

Для завершения доказательства теоремы 8.6 достаточно еще раз сослаться на формулу для вероятности накрытия точки случайным множеством.

Определение 8.3. Носителем случайного множества C называется совокупность всех тех элементов $y \in Y$, для которых $P(y \in C) > 0$.

Теорема 8.7. Равенство:

$$\mathrm{Pr}\,oj(A_1 \cap A_2) = (\mathrm{Pr}\,ojA_1) \cap (\mathrm{Pr}\,ojA_2)$$

верно тогда и только тогда, когда пересечение носителей случайных множеств $\overline{A_1} \cap A_2$ и $A_1 \cap \overline{A_2}$ пусто.

Доказательство. Необходимо выяснить условия, при которых

$$P(y \in A_1 \cap A_2) = \min(P(y \in A_1), P(y \in A_2)). \qquad (8.14)$$

Положим:

$$p_1 = P(y \in A_1 \cap A_2), p_2 = P(y \in \overline{A_1} \cap A_2), p_3 = P(y \in A_1 \cap \overline{A_2}).$$

Тогда равенство (8.14) сводится к условию:

$$p_1 = \min(p_1 + p_2, p_1 + p_3). \qquad (8.15)$$

Ясно, что соотношение (8.15) выполнено тогда и только тогда, когда $p_2 p_3 = 0$ при всех $y \in Y$, т.е. не существует ни одного элемента $y_0 \in Y$ такого, что одновременно $P(y_0 \in \overline{A}_1 \cap A_2) > 0$ и $P(y_0 \in A_1 \cap \overline{A_2}) > 0$, а это эквивалентно пустоте пересечения носителей случайных множеств $\overline{A_1} \cap A_2$ и $A_1 \cap \overline{A_2}$. Теорема 8.7 доказана.

Сведение последовательности операций над нечеткими множествами к последовательности операций над случайными множествами. Выше получены некоторые связи между нечеткими и случайными множествами. Стоит отметить, что изучение этих связей в работе [18] началось с введения случайных множеств с целью развития и обобщения аппарата нечетких множеств Л. Заде. (Для фиксации приоритета на мировом уровне целесообразно отметить, что эта работа выполнена в 1974 г. и доложена в Центральном экономико-математическом институте АН СССР на всесоюзном научном семинаре «Многомерный статистический анализ и вероятностное моделирование реальных процессов» 18 декабря 1974 г. — см. [18, с. 169].) Дело в том, что математический аппарат нечетких множеств не позволяет в должной мере учитывать различные варианты зависимости между понятиями (объектами), моделируемыми с его помощью, не является достаточно гибким. Так, для описания «общей части» двух нечетких множеств есть лишь две операции — произведение и пересечение. Если применяется первая из них, то фактически предполагается, что множества ведут себя как проекции независимых случайных множеств (см. выше теорему 8.6). Операция пересечения также накладывает вполне определенные ограничения на вид зависимости между множествами (см. выше теорему 8.7), причем в этом случае найдены даже необходимые и достаточные условия. Желательно иметь более широкие возможности для моделирования зависимости между множествами (понятиями, объектами). Использование математического аппарата случайных множеств предоставляет такие возможности.

Цель сведения теории нечетких множеств к теории случайных множеств состоит в том, чтобы за любой конструкцией из нечетких множеств увидеть конструкцию из случайных множеств, определяющую свойства первой, аналогично тому, как за плотностью распределения вероятностей мы видим случайную величину. В настоящем пункте приводим результаты по сведению алгебры нечетких множеств к алгебре случайных множеств.

Определение 8.4. Вероятностное пространство $\{\Omega, G, P\}$ назовем делимым, если для любого измеримого множества $X \in G$ и любого положительного числа α, меньшего $P(X)$, можно указать измеримое множество $Y \subset X$ такое, что $P(Y) = \alpha$.

Пример. Пусть Ω — единичный куб конечномерного линейного пространства, G есть сигма-алгебра борелевских множеств, а P — мера Лебега. Тогда $\{\Omega, G, P\}$ — делимое вероятностное пространство.

Таким образом, делимое вероятностное пространство — это не экзотика. Обычный куб является примером такого пространства.

Доказательство сформулированного в примере утверждения проводится стандартными математическими приемами. Они основаны на том, что измеримое множество можно сколь угодно точно приблизить открытыми множествами, последние представляются в виде суммы не более чем счетного числа открытых шаров, а для шаров делимость проверяется непосредственно (от шара X тело объема $\alpha < P(X)$ отделяется соответствующей плоскостью).

Теорема 8.8. Пусть даны случайное множество A на делимом вероятностном пространстве $\{\Omega, G, P\}$ со значениями во множестве всех подмножеств множества $У$ из конечного числа элементов, и нечеткое множество D на

Y. Тогда существуют случайные множества C_1, C_2, C_3, C_4 на том же вероятностном пространстве такие, что

$$\operatorname{Pr}oj(A\cap C_1)=B\cap D,\quad \operatorname{Pr}oj(A\cap C_2)=BD,\quad \operatorname{Pr}oj(A\cup C_3)=B\cup D,$$

$$\operatorname{Pr}oj(A\cup C_4)=B+D,\quad \operatorname{Pr}ojC_i=D,\ i=1,2,3,4,$$

где $B = Proj\ A$.

Доказательство. В силу справедливости законов де Моргана для нечетких (см. теорему 8.1 выше) и для случайных множеств, а также теоремы 8.5 выше (об отрицаниях) достаточно доказать существование случайных множеств C_1 и C_2.

Рассмотрим распределение вероятностей во множестве всех подмножеств множества Y, соответствующее случайному множеству C такому, что $Proj\ C = D$ (оно существует в силу теоремы 8.3). Построим случайное множество C_2 с указанным распределением, независимое от A. Тогда $\operatorname{Pr}oj(A\cap C_2)=BD$ по теореме 8.6.

Перейдем к построению случайного множества C_1. По теореме 8.7 необходимо и достаточно определить случайное множество $C_1(\omega)$ так, чтобы $ProjC_1 = D$ и пересечение носителей случайных множеств $A\cap\overline{C_1}$ и $\overline{A}\cap C_1$ было пусто, т.е.

$$p_3=P(y\in A\cap\overline{C_1})=0$$

для $y\in Y_1=\{y:\mu_B(y)\le\mu_D(y)\}$ и

$$p_2=P(y\in\overline{A}\cap C_1)=0$$

для $y\in Y_2=\{y:\mu_B(y)\ge\mu_D(y)\}$.

Построим $C_1(\omega)$, исходя из заданного случайного множества $A(\omega)$. Пусть $y_1\in Y_2$. Исключим элемент y_1 из $A(\omega)$ для стольких элементарных событий ω, чтобы для полученного случайного множества $A_1(\omega)$ было справедливо равенство:

$$P(y_1\in A_1)=\mu_D(y_1)$$

(именно здесь используется делимость вероятностного пространства, на котором задано случайное множество $A(\omega)$). Для $y\ne y_1$, очевидно,

$$P(y\in A_1)=P(y\in A).$$

Аналогичным образом последовательно исключаем y из $A(\omega)$ для всех $y \in Y_2$ и добавляем y в $A(\omega)$ для всех $y \in Y_1$, меняя на каждом шагу $P(y \in A_i)$ только для $y = y_i$ так, чтобы

$$P(y_i \in A_i) = \mu_D(y_i)$$

(ясно, что при рассмотрении $y_i \in Y_1 \cap Y_2$ случайное множество $A_i(\omega)$ не меняется). Перебрав все элементы $У$, получим случайное множество $A_k(\omega) = C_1(\omega)$, для которого выполнено требуемое. Теорема 8.8 доказана.

Основной результат о сведении теории нечетких множеств к теории случайных множеств дается следующей теоремой.

Теорема 8.9. Пусть $B_1, B_2, B_3, \ldots, B_t$ — некоторые нечеткие подмножества множества $У$ из конечного числа элементов. Рассмотрим результаты последовательного выполнения теоретико-множественных операций:

$$B^m = ((\ldots((B_1 \circ B_2) \circ B_3) \circ \ldots) \circ B_{m-1}) \circ B_m, \quad m = 1,2,\ldots,t,$$

где $\circ$ — символ одной из следующих теоретико-множественных операций над нечеткими множествами: пересечение, произведение, объединение, сумма (на разных местах могут стоять разные символы). Тогда существуют случайные подмножества $A_1, A_2, A_3, \ldots, A_t$ того же множества $У$ такие, что

$$\mathrm{Pr}\, ojA_i = B_i, \ \ i = 1,2,\ldots,t,$$

и, кроме того, результаты теоретико-множественных операций связаны аналогичными соотношениями:

$$\mathbf{Pr}\, oj\{((\ldots((A_1 \otimes A_2) \otimes A_3) \otimes \ldots) \otimes A_{m-1}) \otimes A_m\} = B^m, \ m = 1,2,\ldots,t,$$

где знак $\otimes$ означает, что на рассматриваемом месте стоит символ пересечения $\cap$ случайных множеств, если в определении B^m стоит символ пересечения или символ произведения нечетких множеств, и соответственно символ объединения $\cup$ случайных множеств, если в B^m стоит символ объединения или символ суммы нечетких множеств.

Комментарий. Поясним содержание теоремы. Например, если

$$B^5 = (((B_1 + B_2) \cap B_3)B_4) \cup B_5,$$

то

$$(((A_1 \otimes A_2) \otimes A_3) \otimes A_4) \otimes A_5 = (((A_1 \cup A_2) \cap A_3) \cap A_4) \cup A_5.$$

Как совместить справедливость дистрибутивного закона для случайных множеств (вытекающего из его справедливости для обычных множеств) с теоремой 8.2 выше, в которой показано, что для нечетких множеств, вообще говоря, $(B_1 + B_2)B_3 \neq B_1B_3 + B_2B_3$? Дело в том, что хотя в соответствии с теоремой 8.9 для любых трех нечетких множеств B_1, B_2 и B_3 можно указать три случайных множества A_1, A_2 и A_3 такие, что

$$\Pr oj(A_i) = B_i,\ \ i = 1,2,3,\ \ \Pr oj(A_1 \cup A_2) = B_1 + B_2,\ \ \Pr oj((A_1 \cup A_2) \cap A_3) = B^3,$$

где

$$B^3 = (B_1 + B_2)B_3,$$

но при этом, вообще говоря,

$$\Pr oj(A_1 \cap A_3) \neq B_1B_3$$

и, кроме случаев, указанных в теореме 8.2,

$$\Pr oj((A_1 \cup A_2) \cap A_3) \neq B_1B_3 + B_2B_3.$$

Доказательство теоремы 8.9 проводится по индукции. При t=1 распределение случайного множества строится с помощью теоремы 8.3. Затем конструируется само случайное множество A_1, определенное на делимом вероятностном пространстве (нетрудно проверить, что на делимом вероятностном пространстве можно построить случайное подмножество конечного множества с любым заданным распределением именно в силу делимости пространства). Далее случайные множества A_2, A_3, ..., A_t строим по индукции с помощью теоремы 8.8. Теорема 8.9 доказана.

Замечание. Проведенное доказательство теоремы 8.9 проходит и в случае, когда при определении B^m используются отрицания, точнее, кроме B^m ранее введенного вида используются также последовательности результатов теоретико-множественных операций, очередной шаг в которых имеет вид:

$$B_1^m = \overline{B^{m-1}} \circ B_m,\quad B_2^m = B^{m-1} \circ \overline{B_m},\quad B_3^m = \overline{B^{m-1}} \circ \overline{B_m}.$$

А именно, сначала при помощи законов де Моргана (теорема 8.1 выше) проводится преобразование, в результате которого в последовательности B^m остаются только отрицания отдельных подмножеств из совокупности $B_1, B_2, B_3, ..., B_t$, а затем с помощью теоремы 8.5 вообще удается избавиться от отрицаний и вернуться к условиям теоремы 8.9.

Итак, в настоящем разделе описаны связи между такими объектами нечисловой природы, как нечеткие и случайные множества, установленные в нашей стране в первой половине 1970-х гг. Через несколько лет, а именно, в начале 80-х гг., близкие подходы стали развиваться и за рубежом. Одна из работ [19] носит примечательное название «Нечеткие множества как классы эквивалентности случайных множеств».

В эконометрике [9] и прикладной статистике [10] разработан ряд методов статистического анализа нечетких данных, в том числе методы классификации, регрессии, проверки гипотез о совпадении функций принадлежности по опытным данным и т.д., при этом оказались полезными общие подходы статистики объектов нечисловой природы (см. главу 8 в [9], главу 11 в [10] и работы [4, 8, 18]). Методологические и прикладные вопросы теории нечеткости обсуждаются в литературе, в частности, в работах [4, 8, 20].

8.5. Нечеткий экспертный выбор в контроллинге инноваций

Обсудим одно применение экспертных технологий, разработанных на основе теории нечеткости.

В настоящее время активно разрабатывается подход к управлению инновационными проектами, основанный на методологии контроллинга. Одной из главных причин возникновения и внедрения концепции контроллинга для разработки инноваций на промышленных предприятиях стала необходимость в системной интеграции различных аспектов управления инновационными проектами. Контроллинг обеспечивает методическую и инструментальную базу для поддержки основных функций менеджмента: планирования, учета, контроля и анализа, а также оценки ситуаций для принятия управленческих решений [21].

Этапы контроллинга инноваций. Согласно [22], контроллинг инноваций включает в себя четыре этапа:

- оценки реализуемости проекта;
- информационной поддержки планирования разработки инновационного проекта;
- информационной поддержки контроля над осуществлением инновационного проекта;

- информационной поддержки функции анализа.

На первом этапе контроллеру проекта необходимо ответить на вопрос: достигнет ли предприятие поставленных перед ним целей, если приступит к реализации проекта. Цели проекта — как и цели самого предприятия, должны иметь ясный смысл, результаты, полученные при достижении цели, должны быть измеримы, а заданные ограничения (по времени, рамкам бюджета, выделенным ресурсам и качеству получаемых результатов) выполнимы. Если при реализации проекта общефирменные цели не достигаются, то подразделение контроллинга вырабатывает предложения об альтернативных вариантах реализации проекта, способных удовлетворить поставленные цели.

На этом этапе возникает задача выбора варианта реализации проекта, позволяющего достичь общефирменные цели.

Для решения этой задачи можно воспользоваться эконометрическими методами [9, 10]. Как известно, эконометрика — это наука, изучающая конкретные количественные и качественные взаимосвязи экономических объектов и процессов с помощью математических и статистических методов и моделей, поэтому именно в эконометрике следует искать методы для решения поставленной задачи.

Каждый предложенный вариант реализации проекта имеет свои преимущества и недостатки. Он может характеризоваться как количественными экономическими показателями, такими, как затраты, поступления и др., техническими показателями, описывающими характеристики качества разрабатываемого продукта, так и качественными показателями, выраженными в виде терминов, например, крошечный, маленький, средний.

Целесообразно выделить эталонный вариант реализации проекта и его характеристики. Характеристики подбираются таким образом, чтобы проект был оптимальным с точки зрения предъявляемых к нему требований. Чтобы сравнить варианты реализации проекта с эталонным вариантом и выбрать из них лучший, можно применить эконометрические методы, основанные на алгоритмах анализа качественных и количественных данных. Такие методы подробнее рассматриваются ниже.

На втором этапе осуществляется разработка планово-организационных мероприятий. Подразделение контроллинга разрабатывает методики и инструменты планирования, наилучшим образом подходящие в данных условиях и обеспечивающие наиболее точные результаты. Подготовленный план проверяется на реализуемость, затем решаются вопросы, связанные с координацией участников проекта, с организацией информационного потока, с организацией работ и назначением ответственных.

На третьем этапе устанавливается время проведения контрольных мероприятий, связанное с выполнением определенных блоков работ. Выбираются подконтрольные показатели, характеризующие финансовое и организационное состояние проекта. Устанавливаются допустимые отклонения выбранных показателей, превышение которых может привести к негативным последствиям. Проводится учет показателей, фиксация отклонений. Выявляются причины и виновники отклонений.

На заключительном четвертом этапе подразделение контроллинга оценивает влияние выявленных отклонений на дальнейшие шаги реализации проекта. Выясняет, как выявленные отклонения повлияли на основные управляемые параметры проекта.

По окончанию цикла контроллер проекта подготавливает отчет с предложением вариантов решения возникших проблем и изменением плановых величин на следующий период.

Эконометрические методы сравнения и выбора. На первом этапе контроллинга инноваций необходимо решить задачу выбора варианта реализации проекта. Выбор между вариантами очевиден, если один из вариантов лучше другого по всем рассматриваемым показателям. В реальных ситуациях выбора варианты обычно несравнимы — первый лучше по одним показателям, второй — по другим. В соответствии с рекомендациями [9, 23] для сравнения вариантов необходимо прибегать к экспертным технологиям.

Одна группа экспертных технологий нацелена на выявление объективного упорядочения вариантов в результате усреднения мнений экспертов. Используют различные способы расчета на основе средних рангов (прежде всего средних арифметических и медиан). Для моделирования результатов парных сравнений применяют теорию люсианов. Для экспертных оценок находят медиану Кемени, и т.д.

Другая группа экспертных технологий нацелена на получение коэффициентов весомости (важности, значимости) отдельных показателей. Итоговая оценка варианта реализации проекта получается в результате суммирования произведений значений показателей на соответствующие коэффициенты весомости. Иногда эти коэффициенты оцениваются экспертами на основе иерархической системы показателей. Более обоснованным является экспертно-статистический метод, согласно которому на основе обучающей выборки восстанавливается зависимость между показателями варианта реализации инновационного проекта и его итоговой оценкой.

Использование теории нечеткости. Хотя с момента появления первой книги российского автора по теории нечеткости [4] прошло уже 25 лет, только сейчас эта теория начинает широко применяться в исследованиях по экономике и менеджменту. В частности, для сравнения вариантов реализации инновационного проекта и выбора из них лучшего можно использовать подход, основанный на описании качественных характеристик нечеткими множествами. Опишем его (ср. [24]).

Пусть $S = \{S_i \mid i = \overline{1,n}\}$ — множество, состоящее из n вариантов реализации инновационного проекта. Для каждого варианта S_i определено m характеристик Q_{ij}, $j = \overline{1,m}$. В зависимости от конкретных условий набор характеристик может меняться.

Необходимо выделить эталонный вариант реализации проекта S_o и его характеристики Q_{oj}. Характеристики подбираются таким образом, чтобы проект был оптимальным с точки зрения предъявляемых к нему требований.

Требуется проранжировать имеющиеся варианты S реализации инновационного проекта по заданным m характеристикам на соответствие эталону.

Для каждой характеристики Q_{ij}, согласно рассматриваемой методике, строится нечеткое множество $Q_{ij}, i = \overline{0,1} \quad j = \overline{1,m}$. Для этого сначала определяются возможные значения переменной x_j, удовлетворяющие характеристике Q_{ij} Предполагается, что они составляют отрезок X_{ij}. Определяется середина q_{ij} и полуширина (радиус) $\delta_{ij} > 0$ отрезка X_{ij}: Таким образом,

$$X_{ij} = [q_{ij} - \delta_{ij}; q_{ij} + \delta_{ij}].$$

Для описания критерия Q_{ij} могут применяться различные функции принадлежности. В работе [24] используют функцию принадлежности следующего вида:

$$\mu_{ij}(x_j) = e^{-\frac{\ln 2}{\delta_{ij}^2}(x_j - q_{ij})^2}, i = \overline{0,n}, \quad j = \overline{1,m}.$$

Исходя из построения множества X_{ij}, в точке q_{ij} функция имеет максимум, в пределах множества X_{ij} функция принадлежности принимает значения больше 0,5, а вне X_{ij} — меньшее:

$$\begin{aligned}
&\mu_{ij} : G_j \to [0;1]; \\
&\mu_{ij}(q_{ij}) = 1; \\
&\mu_{ij}(x_j) \geq 0{,}5 \quad \Leftrightarrow \quad x_j \in X_{ij}.
\end{aligned}$$

В результате получаем нечеткие множества:

$$\hat{Q}_{ij} = \{x_j \mid \mu_{ij}(x_j)\}, \quad i = \overline{0,n}, \quad j = \overline{1,m},$$

описывающие критерии Q_{ij}.

Чтобы определить, в какой мере характеристика варианта s_i близка характеристике эталонного варианта s_o, вычисляют степень равенства v_{ij} соответствующих нечетких множеств:

$$v_{ij} = \max_{G_j} \min\left(\mu_{ij}(x_j), \mu_{oj}(x_j)\right).$$

Значение максимина достигается в точке пересечения функций принадлежности:

$$v_{ij} = \mu_{oj}\left(x_{ij}^*\right),$$

где

$$x_{ij}^* = \frac{q_{ij}\delta_{oj} + q_{oj}\delta_{ij}}{\delta_{oj} + \delta_{ij}}, \quad i = \overline{1,n}, \quad j = \overline{1,m}.$$

Произведя взвешенное голосование, получают интегральную оценку v_i соответствия совокупности характеристик варианта реализации проекта s_i совокупности характеристик эталонного варианта s_o:

$$v_i = \sum_{j=1}^{m} \alpha_j v_{ij},$$

где

$$\alpha_j \geq 0, \quad \sum_{j=1}^{m} \alpha_j = 1.$$

Здесь α_j является весом j-го критерия и показывает уровень его важности.

При обсуждении различных подходов к выбору наилучшего варианта реализации инновационного проекта иногда противопоставляют вероятностно-статистические модели и методы теории нечеткости. С методологической точки зрения весьма важно, что такое противопоставление лишено оснований. Давно известно [4], что теория нечеткости в определенном смысле сводится к теории случайных множеств и тем самым к теории вероятностей. Выше (разд. 8.4) приведено развернутое обоснование этого утверждения.

Наиболее простым частным случаем нечеткого множества является интервал. В обзоре [25] отмечается перспективность разработки и широкого использования интервальных экспертных оценок. В настоящее время в этом направлении ведутся активные исследования [26].

Подведем итоги. Теория нечеткости — новая перспективная область математики, интересная теоретикам и полезная прикладникам. Она с успехом используется при проведении экспертных исследований.

Контрольные вопросы и задачи

1. В каких случаях целесообразно применение нечетких множеств?

2. Как с точки зрения нечетких множеств можно интерпретировать вероятность накрытия определенной точки случайным множеством?

3. Справедливо ли для нечетких множеств равенство $(A + B)C = AC + BC$? А равенство $(AB)C = (AC)(BC)$?

4. На множестве $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ задано нечеткое множество B с функцией принадлежности $\mu_B(y)$, причем $\mu_B(y_1) = 0{,}1$, $\mu_B(y_2) = 0{,}2$, $\mu_B(y_3) = 0{,}3$. Постройте случайное множество A так, чтобы $\mathrm{Proj}\ A = B$.

5. На множестве $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ задано нечеткое множество B с функцией принадлежности $\mu_B(y)$, причем $\mu_B(y_1) = 0{,}2$, $\mu_B(y_2) = 0{,}1$, $\mu_B(y_3) = 0{,}5$. Постройте случайное множество A так, чтобы $\mathrm{Proj}\ A = B$.

6. На множестве $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ задано нечеткое множество B с функцией принадлежности $\mu_B(y)$, причем $\mu_B(y_1) = 0{,}5$, $\mu_B(y_2) = 0{,}4$, $\mu_B(y_3) = 0{,}7$. Постройте случайное множество A так, чтобы $\mathrm{Proj}\ A = B$.

7. На множестве $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ задано нечеткое множество B с функцией принадлежности $\mu_B(y)$, причем $\mu_B(y_1) = 0{,}3$, $\mu_B(y_2) = 0{,}2$, $\mu_B(y_3) = 0{,}1$. Постройте случайное множество A так, чтобы $\mathrm{Proj}\ A = B$.

8. Опишите с помощью нечеткого подмножества временной шкалы понятие «молодой человек».

9. Опишите с помощью теории нечеткости понятие «куча зерен».

10. Как можно проводить кластерный анализ совокупности нечетких множеств?

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Обсудите суждение: «Мы мыслим нечетко» (см. [20]). Почему нечеткость мышления помогает взаимопониманию?

2. Взаимосвязь теории нечеткости и теории вероятностей.

3. Методы оценивания функции принадлежности нечеткого множества.

4. Теория нечеткости и интервальная математика.

5. Описание данных для выборок, элементы которых — нечеткие множества.

6. Регрессионный анализ нечетких переменных (согласно подходу [4]).

7. Непараметрические оценки плотности распределения вероятностей в пространстве нечетких множеств (согласно подходу [9, 10]).

Литература

1. *Zadeh, L.A.* Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and Control. — 1965. — V.8. — № 3. — P. 338–353.

2. *Борель, Э.* Вероятность и достоверность / Э. Борель. — Москва : ГИФМЛ, 1961. — 120 с.

3. *Пуанкаре, А.* О науке / А. Пуанкаре. — Москва : Наука, 1990. — 736 с.

4. *Орлов, А.И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные / А.И. Орлов. — Москва : Знание, 1980. — 64 с.

5. *Битюков, П.В.* Моделирование задач ценообразования на электронные обучающие курсы в области дистанционного обучения : специальность 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Битюков Петр Вадимович ; Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. — Москва : Изд-во МЭСИ, 2002. — 24 с.

6. *Заде, Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. — Москва : Мир, 1976. — 166 с.

7. *Кафаров, В.В.* Принцип описания химико-технологических процессов с помощью нечетких множеств / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, Е.П. Марков // Доклады Академии наук СССР. — 1978. — Т. 243. — № 1. — С. 159–162.

8. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

9. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

10. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

11. *Орлов, А.И.* Метрика подобия: аксиоматическое введение, асимптотическая нормальность / А.И. Орлов, Г.В. Раушенбах // Статистические методы оценивания и проверки гипотез : межвузовский сборник научных трудов. — Пермь : Изд-во ПГНИУ, 1986. — С. 148–157.

12. *Орлов, А.И.* Сходимость эталонных алгоритмов / А.И. Орлов // Прикладной многомерный статистический анализ. Т. 33. — Москва : Наука, 1978. — С. 361–364. — (Ученые записки по статистике).

13. *Воробьев, О.Ю.* Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров / О.Ю. Воробьев, Э.Н. Валендик. — Новосибирск : Наука, 1978. — 160 с.

14. *Воробьев, О.Ю.* Среднемерное моделирование / О.Ю. Воробьев. — Москва : Наука, 1984. — 136 с.

15. *Колмогоров, А.Н.* Основные понятия теории вероятностей / А.Н. Колмогоров. — 2-е изд. — Москва : Наука, 1974. — 120 с.

16. *Лебег, А.* Об измерении величин / А. Лебег. — Москва : Учпедгиз, 1960. — 204 с.

17. *Ефимов, Н.В.* Высшая геометрия / Н.В. Ефимов. — Москва : ГИФМЛ, 1961. — 580 с.

18. *Орлов, А.И.* Основания теории нечетких множеств (обобщение аппарата Заде). Случайные толерантности / А.И. Орлов // Алгоритмы многомерного статистического анализа и их применения. — Москва : Изд-во ЦЭМИ АН СССР, 1975. — С. 169–175.

19. *Goodman, I.R.* Fuzzy sets as equivalence classes of random sets / I.R. Goodman // Fuzzy Set and Possibility Theory: Recent Developments. — New York : Oxford : Toronto : Sydney : Paris : Frankfurt : Pergamon Press, 1982. — P. 327–343. (Перевод на русский язык: *Гудмэн, И.* Нечеткие множества как классы эквивалентности случайных множеств / И. Гудмэн // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. — Москва : Радио и связь, 1986. — С. 241–264.)

20. *Орлов, А.И.* Математика нечеткости / А.И. Орлов // Наука и жизнь. — 1982. — № 7. — С. 60–67.

21. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примак, С.Г. Фалько. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

22. *Загонова, Н.С.* Эконометрическая поддержка контроллинга инноваций. Нечеткий выбор / Н.С. Загонова, А.И. Орлов / Российское предпринимательство. — 2004. — № 4. — С. 54–57.

23. *Орлов, А.И.* Менеджмент в техносфере : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев. — Москва : Академия, 2003. — 384 с.

24. Оценка качества технических объектов с использованием нечетких множеств / И.В. Гермашев, В.Е. Дербишер, Т.Ф. Морозенко, С.А. Орлова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2001. — Т. 67. — № 1. — С. 65–68.

25. *Орлов, А.И.* Экспертные оценки / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54–60.

26. *Шахнов, И.Ф.* Экспресс-анализ упорядоченности интервальных величин / И.Ф. Шахнов // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 10. — С. 67–84.

27. *Bellman, R.* Abstractions and Pattern Classification / R. Bellman, R. Kalaba, L. Zadeh // Journal of Mathematical Analysis Applications. — 1966. — Vol. 13. — P. 1–7. (Перевод: *Беллман Р.* Абстрагирование и классификация образов / Р. Беллман, Р. Калаба, Л. Заде // Современные проблемы кибернетики. — Москва : Знание, 1979. — С. 21–29.)

28. *Орлов, А.И.* Теория нечетких множеств — часть теории вероятностей / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 92. — С. 51–60.

29. *Орлов, А.И.* Системная нечеткая интервальная математика : монография / А.И. Орлов, Е.В. Луценко. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2014. — 600 с.

30. *Орлов, А.И.* Статистика нечетких данных / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 119. — С. 75–91.

31. *Орлов, А.И.* Системная нечеткая интервальная математика — основа математики XXI в. / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 165. — С. 111–130.

ЧАСТЬ 3. ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

ГЛАВА 9. ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В ЭКОЛОГИИ

Перейдем к примерам практического применения технологий экспертных оценок. Начнем с экологии. Проведем анализ различных постановок задач, требующих для своего решения применения экспертных оценок, а затем более подробно рассмотрим Федеральный закон «Об экологической экспертизе».

9.1. Экспертные оценки в задачах экологического страхования и обеспечения экологической безопасности

В настоящее время экспертные исследования широко применяются для решения различных сложных задач, связанных с экологическим страхованием, в частности, с оценкой, ранжированием и классификацией видов экологических опасностей и подверженных им объектов, оценкой и выбором технологий и проектов. Экспертные методы могут применяться, например,

- для отбора возможных исполнителей тех или иных работ (в частности, специалистов, проводящих экологическую экспертизу объектов, подлежащих страхованию);

- для оценивания совокупности объектов и выбора из них лучшего (или наиболее опасного);

- для выяснения возможностей снижения уровня опасности объектов экологического страхования в увязке с временными, финансовыми и иными ограничениями, и т.д.

При этом высококвалифицированные специалисты-эксперты с соответствии со специально разработанной процедурой (технологией) формулируют свои мнения по рассматриваемым вопросам, которые затем сводятся вместе с целью подготовки для лица, принимающего решения, необходимой информации и проекта решения.

Метод экспертных оценок широко применяется при решении задач экологического страхования. Так, в докладе В.Н. Новосельцева, Г.М. Арбузова и др. на Первой Всероссийской конференции «Теория и практика экологического страхования» отмечалось, что, «как следует из мировой практики, оценка уровня опасности промышленных производств, как правило, осуществляется экспертным путем» [1]. Как указывает В.Н. Бурков [2], многие звенья необходимых нашей стране экономических механизмов обеспечения безопасности основаны на применении процедур экспертного оценивания. В частности, с их помощью проводится сравнительный анализ и оценка страховых тарифов для российских атомных станций [3]. Отметим, что экспертный подход используется при страховании рисков, связанных с деятельностью АЭС, в частности, из-за явного недостатка данных по частоте аварий. Эта ситуация — недостаток статистических данных — является весьма частой при экологическом страховании. В [4] ранжирование производств по экологическому риску осуществляется с помощью экспертных оценок.

Методы системного анализа окружающей среды во многом основаны на применении экспертных оценок [6]. Оценка надежности и риска для технических систем также опираются на экспертные процедуры (см. [7], особенно с. 259).

Использованию экспертных оценок в проблеме безопасности посвящен ряд работ. Отметим весьма содержательную статью [8], в которой большое внимание уделяется экспертным оценкам и экспертным системам, возможности использования теории нечетких множеств, вероятностным оценкам по Байесу и Демпстер — Шейферу и др. Международный институт контроля материального ущерба разработал [9] программу безопасности, известную как «Международная система рейтинга безопасности». По ней действия компании в области безопасности оцениваются экспертами по пятибалльной шкале. Программа включает 20 элементов. В сборнике [10], посвященном обеспечению безопасности технологий, связанных с высокими рисками, подробно рассматриваются такие методы экспертных оценок, как метод парных сравнений (с. 181–215) и метод Дельфи (с. 259–291). В монографии по количественной теории риска [11] экспертной тематике также уделяется большое внимание (см. с. 37, 480 и др.).

Методология выбора возможных мест размещения опасных объектов на территории страны, развитая в статье [12], предполагает использование различных методов экспертных оценок. Вопросам сравнения технологий по степени экологической опасности посвящен цикл статей [13–16], основанных на применении метода экспертных оценок. Еще одна сфера его применения — изучение роста заболеваемости населения в результате экологического загрязнения окружающей среды [17]. В статье [18] отмечается необходимость интенсивного развития технологий экспертных оценок и систем поддержки принятия решений при возрастании риска заболеваний раком в результате неблагоприятных экологических изменений.

Большое распространение экспертных методов в практических работах находит свое отражение в том, что разрабатываются и утверждаются соответствующие нормативно-технические документы, например, ГОСТ 23554.2-82 «Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Обработка значений экспертных оценок качества продукции» (в настоящее время на его основе разработана система методических материалов) или «Руководство по разработке комплексной оценки качества объекта», предназначенное для использования в прикладном НИИ.

Математика экспертных оценок в задачах экологического страхования. В настоящее время не существует научно обоснованной классификации методов экспертных оценок и тем более — однозначных рекомендаций по их применению. Вполне естественно, что сначала в нашей стране появились публикации о простейших методах экспертных оценок. Как обычно бывает, эти простые идеи широко распространились, вошли в массовое сознание инженеров и управленцев (менеджеров) — и стали, увы, тормозом на пути внедрения современных результатов в области экспертных оценок. Наиболее продвинутые результаты в рассматриваемой области были получены в результате работы комиссии «Экспертные оценки» Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» в 1970–1990-х гг., на основе достижений которой и составлен настоящий учебник.

Процедуры формирования экспертной группы, сбора и анализа мнений экспертов предполагают постоянное использование методов прикладной математической статистики. Без применения таких методов невозможно осуществить выбор возможных экспертов и подбор состава экспертной комиссии, проверить согласованность мнений экспертов, выделить группы единомышленников, сформировать итоговое мнение экспертной комиссии. Поэтому необходимо использовать при планировании и проведении экспертных обследований весь арсенал методов современной прикладной математической статистики. Однако приходится констатировать, что имеющиеся нормативно-технические и методические разработки не вполне соответствуют этому требованию, методы анализа мнений экспертов имеют недостатки с точки зрения современной прикладной математической статистики, не позволяют в полной мере использовать возможности современной вычислительной техники.

Математические методы выборочных исследований — классическая область прикладной математической статистики. Начиная с 1970-х гг. в нашей стране развитие современных выборочных методов, в частности, статистики объектов нечисловой природы, стимулировалось запросами экспертных и социологических исследований [19]. Были разработаны новые теоретические и практические подходы, сформулированы и изучены постановки статистических задач описания нечисловых данных, оценивания характеристик и параметров, проверки гипотез, предложены алгоритмы анализа разнотипных данных (включающих значения количественных и качественных признаков), получены теоремы о свойствах этих алгоритмов, о состоятельности оценок и т.д. Неформальным научным коллективом, проводящим исследования по рассматриваемой тематике, выпущено несколько сотен публикаций. В частности, сводка теоретических результатов издана в виде сборника [20], подготовленного подкомиссией «Статистика объектов нечисловой природы» Научного Совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» и Институтом социологических исследований АН СССР.

На основе более чем двадцатилетнего опыта комиссии «Экспертные оценки» Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» и двадцати лет работы ее научного семинара «Математические методы анализа экспертных оценок» можно утверждать, что современные математические методы экспертных оценок — это в основном методы статистики объектов нечисловой природы. Проблемы современного этапа развития теории и практики экспертных оценок обсуждаются в обзоре [21].

Перспективы использования экспертных оценок в экологическом страховании. Продемонстрирована необходимость широкого использования экспертных оценок в различных задачах экологического страхования. Добавим здесь, что технологии экологического страхования включают использование процедур экспертных оценок на различных этапах, в частности:

- при построении групповых и обобщенных показателей опасности аварийного загрязнения окружающей среды;

- при ранжировании и классификации объектов экологического страхования;

- при проведении экологической экспертизы объектов, подлежащих страхованию;

- при оценке ущерба от конкретного аварийного загрязнения.

При разработке экспертных процедур экологического страхования целесообразно использовать современные методы планирования экспертного исследования и анализа оценок экспертов, применять соответствующие компьютерные системы, в том числе АРМ «МАТЭК» (см. раздел 2.5). Методология использования метода экспертных оценок в задачах экологического страхования разработана коллективом специалистов, подготовивших доклад [22].

9.2. Технологии экологических экспертиз

Технологии экспертных исследований достаточно сложны. Они, очевидно, не сводятся к математической обработке ответов экспертов. В качестве предметной области для обсуждения практических проблем применения экспертных оценок рассмотрим использование в экологии методов экспертных оценок. Для таких экспертных процедур принят термин «экологические экспертизы».

Система экологических экспертиз. Хорошо известно, что в экологии активно используют методы экспертных оценок. Они позволяют решать многие проблемы управления охраной природы, обеспечивая при этом сочетание отраслевого и территориального принципов [23]. Экологической экспертизе должны подвергаться все проекты хозяйственной и иной деятельности, могущей оказывать вредное воздействие на состояние окружающей среды. Заключения экспертов опираются на материалы по оценке воздействия на окружающую природную среду (сокращенно — ОВОС).

Эта оценка проводится заказчиком проекта и включает полный и подробный анализ информации о таком воздействии, а также описание необходимых мер по охране окружающей природной среды. Оценка воздействия на окружающую природную среду производится с учетом экологического состояния окружающей среды в месте планируемого размещения объекта. Учитываются перспективы социально-экономического развития региона, мощность и виды воздействия рассматриваемого объекта на окружающую природную и антропогенную среду, а также требования действующего природоохранного законодательства.

Экологические экспертизы делятся на государственные и общественные [24]. Задачами *государственной экологической экспертизы* являются определение уровня экологической опасности намечаемой или осуществляемой хозяйственной, научной или иной деятельности, которая может в настоящем или будущем прямо или косвенно оказать воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения. Кроме того, проводится проверка соответствия проектируемой хозяйственной и иной деятельности требованиям природоохранного законодательства, а также определяется достаточность и обоснованность предусматриваемых проектом мер по охране природы.

Государственная экологическая экспертиза организуется федеральным специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы или его территориальными отделениями — Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Ростехнадзор является федеральным органом исполнительной власти, находится в ведении Правительства Российской Федерации.

Государственная экологическая экспертиза проводится на основе принципов законности, научной обоснованности, комплексности, гласности и с учетом позиции общественности. В ней не должны участвовать лица, заинтересованные каким-либо образом в ее исходе. Для анализа правовых вопросов процедуры государственной экологической экспертизы и проверки законности проектных решений полезно участие квалифицированных юристов.

Перечень объектов государственной экологической экспертизы постоянно расширяется государственными органами. Ей подвергаются не только инвестиционные проекты в промышленности. Это и проекты различных государственных планов, программ, концепций, основных направлений и схем размещения производительных сил страны и отраслей народного хозяйства, другая предплановая документация по развитию хозяйственной и иной деятельности, реализация которой может оказать воздействие на состояние окружающей среды. Это также проекты инструктивно-методических и нормативно-технических документов, регламентирующих хозяйственную деятельность. Экспертизе подлежит документация по созданию новой техники, технологий, материалов и веществ, в том числе закупаемых за рубежом. Экспертизе подвергается ввозимая в Россию и вывозимая из России продукция. Целесообразно подвергать экспертизе экологическую ситуацию в регионе в целом, а не только действующие предприятия и другие объекты, оказывающие влияние на состояние окружающей среды.

Важность государственной экологической экспертизы *определяется тем, что реализация проекта, подлежащего экологической экспертизе, без положительного заключения государственной экологической экспертизы запрещается. Такой проект не подлежит финансированию.* Последнее требование очень существенно — иначе благие пожелания и призывы экологов могут повиснуть в воздухе. На основе требования закона уже прекращена реализация ряда проектов, в рамках которых строительство началось до окончательного утверждения проекта в соответствии с положительным решением государственной экологической экспертизы. Отказ в открытии финансирования без заключения экспертизы является надежным барьером на пути любителей ставить общество и власть перед фактом — перед начатыми и проведенными работами. Не исключена возможность постановки вопроса о взыскании (в судебном порядке) затраченных средств с виновных в незаконном строительстве, особенно в случае признания его экологически вредным и небезопасным. Незаконно возведенные строения должны быть снесены, территория возвращена к исходному состоянию, и все это за счет виновных в пренебрежении к закону.

Государственная экологическая экспертиза призвана также *согласовывать* интересы отраслей (фирм, предприятий) и территорий. Дело в том, что выносимый на экспертную оценку проект отражает, как правило, задачи природопользования — эксплуатацию природных ресурсов в интересах предпринимателя (хозяйствующего субъекта), даже если в качестве такового выступает государственная организация или народное хозяйство в целом. Экспертная же комиссия, включающая в основном экологов, учитывающая мнение лиц, проживающих на данной территории, или, по крайней мере, находящаяся под их активным воздействием, фактически является представителем территории. Причем территории, стремящейся к экологическому благополучию. Здесь проявляются противоречия между интересами производства, неизбежно загрязняющего окружающую природную среду, и региона, а потому часто разгораются экологические страсти. Правовое решение описанного противоречия во многом зависит от объективности и научности подходов государственной экологической экспертизы.

Итак, система *экологических экспертиз* — независимая, вневедомственная, состоящая из компетентных, не заинтересованных в ведомственности, в местничестве специалистов, оснащенная современным оборудованием, действует в регионах обычно на базе комитетов охраны природы в составе исполнительной ветви государственной власти. Она набирает опыт, приобретает достойный статус, уважаемый как государственными органами, так и общественностью и предпринимателями. Заключения государственных экологических экспертиз обычно рассматриваются на коллегиях комитетов по охране природы субъектов Федерации (иногда их называют комитетами по экологии). В наиболее важных случаях, когда затрагиваются интересы нескольких субъектов Федерации — на заседании коллегии федерального специально уполномоченного государственного органа в области экологической экспертизы.

Экологическую экспертизу должны проходить все без исключения проекты и программы, а по инициативе органов местного самоуправления — и ранее принятые программы. Отбор экспертов в соответствии с требованием закона [24] надо производить из компетентных специалистов, не связанных с заказчиками и исполнителями проектов. Следует обязательно включать в их состав экономистов, юристов, специалистов по системному анализу и теории принятия решений. При этом принципиальное значение имеют:

- права граждан и общественных объединений в области государственной экологической экспертизы;

- общественная экологическая экспертиза;

- процедурные моменты, которые необходимо знать всем участвующим в экспертизах сторонам;

- правовые гарантии при экологической экспертизе.

Роль общественности в экологических экспертизах. Участие общественности является настолько важным и актуальным принципом проведения экологической экспертизы, обеспечивающим ее успешность, что заслуживает более подробного рассмотрения.

В Законах Российской Федерации «Об охране окружающей среды» (от 10 января 2002 г.) и «Об экологической экспертизе» (от 23 ноября 1995 г.) указаны весьма важные принципы проведения государственной экологической экспертизы, касающиеся общественности [24, 25]. Это принципы гласности, участия в экспертизе общественных организаций (объединений), обязательного учета общественного мнения об объектах экспертизы и др. В частности, граждане и общественные организации (объединения) имеют право:

- в соответствии с законодательством выдвигать предложения о проведении государственной и общественной экологической экспертизы хозяйственной и иной деятельности, реализация которой затрагивает экологические интересы населения, проживающего на данной территории;

- направлять в письменной форме органам охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ предложения по экологическим аспектам намечаемой хозяйственной и иной деятельности (для получения требуемого эффекта эти предложения должны быть *аргументированными*, т.е. обоснованными с научной и правовой точек зрения);

- получать от органов, организующих проведение государственной экологической экспертизы конкретных объектов экологической экспертизы, информацию о результатах ее проведения;

- обжаловать выводы экспертной комиссии в судебном порядке (через суд или арбитражный суд);

- требовать назначения государственной экологической экспертизы, выступая с изложением соответствующей ситуации экологической платформы в средствах массовой информации;

- рекомендовать своих представителей для участия в заседаниях экспертной комиссии государственной экологической экспертизы (с совещательным голосом) по вопросам размещения и проектирования объектов.

Конституция РФ об экологических правах. К проведению государственной экологической экспертизы имеют отношение некоторые более общие экологические права граждан, записанные в Конституции РФ, а именно:

- право требовать от соответствующих органов предоставления своевременной, полной и достоверной информации о состоянии окружающей среды и мерах по ее охране;
- право ставить вопрос о привлечении к ответственности виновных должностных лиц;
- право предъявлять в суде *иски о возмещении вреда здоровью и имуществу* граждан, причиненного экологическими правонарушениями;
- право требовать в административном или судебном порядке отмены решений о размещении, строительстве или эксплуатации экологически вредных объектов, об ограничении, приостановлении, прекращении или перепрофилировании их деятельности.

Для организации работы общественных организаций и граждан в области экологической экспертизы весьма важно, что согласно Закону Российской Федерации о государственной тайне от 21 июля 1993 г. [26], к сведениям, *не подлежащим засекречиванию,* относятся сведения:

- о чрезвычайных происшествиях и катастрофах, угрожающих безопасности и здоровью граждан, и их последствиях, а также о стихийных бедствиях, их официальных прогнозах и последствиях;
- о состоянии экологии, здравоохранения, санитарной обстановки;
- о фактах нарушения прав и свобод человека и гражданина, в том числе экологических;
- о фактах нарушения законодательства органами государственной власти и их должностными лицами.

9.3. Общественная экологическая экспертиза

Общественная экологическая экспертиза организуется и проводится по инициативе граждан и общественных организаций (объединений), а также *по инициативе органов местного самоуправления.* Она организуется общественными организациями (объединениями), которые зарегистрированы в установленном законодательством РФ порядке. Основным направлением деятельности таких организаций (в соответствии с их уставами) должна являться *охрана окружающей среды, в том числе организация и проведение экологических экспертиз.* Таким образом, **организатором общественной экологической экспертизы**

может быть не любая общественная организация (объединение), а только экологическая, причем зарегистрированная в соответствии с законодательством. Общественная экологическая экспертиза может проводиться независимо от государственной экологической экспертизы тех же объектов.

Общественные организации (объединения), осуществляющие общественную экологическую экспертизу, имеют право:

- получать от заказчика экспертизы предусмотренную законом документацию, подлежащую экологической экспертизе;
- знакомиться с действующей нормативно-технической документацией, устанавливающей требования к проведению государственной экологической экспертизы;
- направлять своих представителей в качестве наблюдателей на заседания экспертных комиссий государственной экологической экспертизы и участвовать в проводимом ими обсуждении заключений общественной экологической экспертизы.

Это тем более важно, что, согласно Закону РФ «Об охране окружающей среды» (от 10 января 2002 г.) заключение общественной экологической экспертизы может становиться столь же юридически обязательным, как и заключение государственной экологической экспертизы, после его утверждения соответствующими органами государственной экологической экспертизы.

Статьи 23 и 24 Закона РФ «Об экологической экспертизе» (от 23 ноября 1995 г.) установлены следующие положения, устанавливающие правовые нормы проведения общественной экологической экспертизы:

- государственная регистрация заявления общественных организаций (объединений) о проведении экологической экспертизы;
- порядок и сроки этой регистрации органами местного самоуправления;
- форма и содержание заявления о проведении экологической экспертизы;
- обязанности общественных организаций (объединений), проводящих экологическую экспертизу, связанные с извещением населения о начале ее осуществления и заключении экспертной комиссии общественной экологической экспертизы;
- исчерпывающий перечень оснований, по которым может быть отказано в государственной регистрации заявления о проведении общественной экологической экспертизы.

Заключение (итоговый документ) общественной экологической экспертизы направляется федеральному органу, отвечающему за государственные экологические экспертизы, и соответствующим территориальным органам, заказчику, органам, принимающим решение о реализации объектов экологической экспертизы, органам местного самоуправления, а также может передаваться другим заинтересованным лицам. Целесообразна публикация основных положений заключения в средствах массовой информации.

В случае придания *юридической силы* заключению общественной экологической экспертизы на руководителя и членов экспертной комиссии общественной экологической экспертизы распространяются требования *об ответственности* за правильность и обоснованность экспертного заключения в целом и отдельных его положений. Другими словами, руководитель и члены экспертной комиссии общественной экологической экспертизы приравниваются в этом отношении к руководителю и членам экспертной комиссии государственной экологической экспертизы.

Ответственность наступает в соответствии с трудовым, гражданским, административным либо уголовным законодательствами. Федеральными законами «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ и «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗпредусматриваются конкретные правонарушения в области экологической экспертизы, влекущие соответствующий вид ответственности.

Значимость заключения общественной экологической экспертизы зависит от разброса мнений относительно объекта обсуждения и авторитета общественных экспертов, мотивированности доводов. Надо иметь в виду, что цели и основные приемы и принципы государственной и общественной экспертизы совпадают. Общественная экспертиза наряду с другими задачами имеет целью привлечь внимание государственных органов к конкретному объекту, широко распространить объективную, научно обоснованную информацию об исходящей от него потенциальной экологической опасности, внедрить мысль о необходимости принятия мер по предупреждению этой опасности.

Материальные основания для проведения общественной экологической экспертизы — озабоченность судьбой объекта. Процессуальными основаниями могут быть решения органов местного самоуправления, высших (съезд, конференция) или исполнительных органов общественной организации (объединения) в соответствии с компетенцией, определенной в уставе или ином основополагающем документе этой общественной организации (объединения). Начало процессу общественной экологической экспертизы могут положить решения общего собрания научного коллектива, или даже просто группы граждан, проживающих в одном поселке, квартале, на одной улице.

Учитывая зависимость силы заключения общественной экологической экспертизы от авторитета участников и мотивированности доводов, *очень важно обеспечить правильную процедуру экспертизы и адекватный подбор членов и председателя комиссии общественной экологической экспертизы*. В принципе требования и к тому и к другому совпадают с аналогичными требованиями при проведении государственной экологической экспертизы, однако скрупулезность и тщательность выполнения этих требований имеют повышенное значение в связи с отсутствием обязательности для исполнения заключения общественной экологической экспертизы. Необходимо максимальное обеспечение гласности и доступа общественности по всем указанным выше направлениям. Состав экспертов по их научной квалификации и компетентности должен быть по уровню не ниже экспертов государственной экспертизы — иначе их доводы, даже более мотивированные, не будут должным образом восприняты.

Немаловажное значение имеет тщательное выполнение всех требований, зафиксированных в нормативно-правовых и инструктивно-методических документах, регламентирующих проведение экологической экспертизы. В российских традициях — легкость отношения к их нарушениям, порой весьма многочисленным. Нередко эти требования воспринимаются как формализм, бюрократизм, а между тем они являются непременными и необходимыми — полное их соблюдение положительно влияет на качество экспертного заключения общественной экологической экспертизы.

Получение мотивированного, обоснованного экспертного заключения общественной экологической экспертизы важно, но это лишь часть дела. Главное — *довести это мотивированное заключение до сведения принимающих решение органов и должностных лиц,* сделать его хотя и альтернативным, но равноправным, наряду с заключением государственной экологической экспертизы, мнением официальных организаций.

Поэтому целесообразно довести содержание заключения общественной экологической экспертизы до сведения максимально широкого круга лиц, заинтересованных в этой проблеме. Как это можно сделать? Путем рассылки заключения, опубликования его в средствах массовой информации, организации лекций, собраний, конференций, круглых столов, дискуссий, обсуждений.

Общественная экологическая экспертиза не исключает оплату работы членов и сотрудников экспертных комиссий (за счет средств муниципальных образований, местных органов власти, экологических фондов, пожертвований, иных поступлений, не запрещенных законом). Допускается и самообложение граждан, предусмотренное российским законодательством. В зарубежных странах весьма распространена практика объединения граждан для решения конкретных проблем, таких, как общественная экологическая экспертиза, приглашение юриста для консультации или выступления в суде, сбор средств исключительно для этих локальных и ограниченных по времени нужд.

9.4. Экологические экспертизы с правовой точки зрения

Общественности принадлежит весомая роль в обеспечении выполнения требований экологического законодательства. В частности, речь идет об обязательности проведения государственной экологической экспертизы в целях предотвращения загрязнения среды. Вследствие этого нередко возникают следующие вопросы.

Всегда ли при наличии достаточных оснований назначается и проводится государственная экологическая экспертиза? Все ли объекты, подлежащие экспертизе, ею охвачены? Имеются ли случаи осуществления или финансирования строительства или реконструкции предприятий без экологической экспертизы, а также осуществления других проектов, хозяйственных и иных решений? Всегда ли представители контролирующих экологических органов входят в состав комиссий по приему в эксплуатацию объектов и иных сооружений, могущих оказать вредное воздействие на природную среду? Привлекаются ли к персональной ответственности за нарушение порядка приемки объектов председатель и члены приемочных комиссий? Как государственные органы реагируют на случаи финансирования предприятий, сооружений и устройств, не удовлетворяющих требованиям экологической экспертизы? Привлекаются ли к ответственности председатели и члены экологических экспертных комиссий за дачу заведомо неправильных и необоснованных заключений, возмещается ли причиненный в результате этого вред? Привлекаются ли к ответственности руководители предприятий, учреждений, организаций, другие должностные лица за невыполнение требований экологической экспертизы? Имеются ли случаи прекращения финансирования или приостановка эксплуатации предприятий, цехов, работ по их реконструкции в случаях невыполнения требований экспертизы или отсутствия проведения государственной экологической экспертизы?

Задавая эти вопросы, пытаясь получить на них ответы, конструктивно участвуя в их решении, граждане и общественные организации (объединения) тем самым реализуют свои права на надлежащую окружающую среду, на экологическую гласность, на участие в оценке проектов, могущих повлиять на природное благополучие. Ответы на указанные вопросы могут даваться как через средства массовой информации, на митингах и собраниях, так и через государственные органы, депутатские запросы, наказы избирателей, правоохранительные и природоохранительные учреждения. Важно уяснить, что экологическая экспертиза — важнейшая на сегодня форма и стадия предупреждения и пресечения деградации природы, которую общественности надо держать под пристальным вниманием.

В современных условиях, при существующем уровне политической, правовой культуры большинства граждан подключение их к деятельности государственной экологической экспертизы является эффективной формой воздействия на принимаемые экологические решения. Это, по-видимому, объясняется недостаточной развитостью системы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Есть и иные причины. Плохо работает связка «заказчик — общественность». Слаб контроль организаторов государственных экспертиз за полным отражением общественных слушаний и общественного мнения в пояснительных записках и иных материалах технико-экономического обоснования (ТЭО) и проекта в целом. Весьма низки сложившийся уровень информации, гласности, навыки выражения и защиты собственного мнения — все это наращивается и формируется годами, а может быть, и десятилетиями. Характерно, что мало заключений государственных экологических экспертиз обжалуется в судебные органы — сказывается сложившееся веками отношение граждан России к суду как к чему-то чужеродному, отчужденному, государственному, официальному, короче, к тому месту, которое следует избегать.

Поэтому *природоохранительные органы, местное самоуправление экологические объединения заинтересованы в использовании государственной экологической экспертизы* для привлечения граждан, выявления их мнения, анализа их предложений, учета позиций — как для предупреждения ошибок проекта и будущих конфликтов, так и для повышения приемлемости проекта для населения, устранения недоразумений, выбора более одобряемых гражданами вариантов решений.

На этапе проведения государственной экологической экспертизы общественность может, не доводя дело до принятия решения органами власти, до его обжалования в суд, отстаивать свои экологические интересы. Она может воздействовать через горизонтальные (находящиеся здесь же, на равноправных началах) или вертикальные (вышестоящие, базирующиеся в другом месте) органы на ход и организацию государственной экологической экспертизы, добиваться от них использования демократических форм совета с народом.

К настоящему времени сформировалось экологическое право, действует экологическая милиция, экологические прокуратура и суды. Общественность может и должна действовать, опираясь на нормы экологического права [27, 28].

В ряде субъектов Российской Федерации разработаны и приняты нормативные акты по вопросам государственной экологической экспертизы, предусматривающие конкретные формы привлечения к ней общественности. Так, например, согласно Закону Республики Коми «Об экологической экспертизе» от 20 октября 1992 г., предусматривается по достаточно сложным проектам обязательное составление специального документа: «*Резюме, позволяющее неспециалисту в достаточной степени разобраться в сути излагаемых вопросов*». Орган государственной экологической экспертизы должен опубликовать в периодических изданиях декларации об экологических последствиях с указанием организации-заказчика, ответственной за ознакомление общественности с документами и материалами, сроков, места и времени ознакомления. Упомянутый Закон Республики Коми содержит специальную статью о порядке обсуждения намечаемой заказчиком деятельности с общественностью (подобные нормы имеются и в некоторых других субъектах Федерации). Согласно этой статье Закона Коми, представители общественности вправе бесплатно знакомиться с документами и представлять в государственное экспертное учреждение свои письменные замечания и предложения. Установлен и срок для этого — один месяц со дня опубликования декларации об экологических последствиях. Государственный комитет по охране природы направляет в течение недели копии этих замечании и предложений экспертам и заказчику намечаемой деятельности. Лица, представившие свои замечания, по их желанию, могут действовать анонимно. Таким образом, научные рекомендации и пожелания обретают обязательную силу и становятся правовыми нормами, обеспечиваемыми государством, должностными лицами. Это весьма важно для общественности — из области пожеланий, опыта, предложения они превращаются в требования ко всем учреждениям, предприятиям, организациям, их должностным лицам.

Как отмечалось, выводы экологической экспертной комиссии могут быть обжалованы в суд или арбитражный суд. Так, например, государственная экологическая экспертиза Кемеровского областного комитета экологии выдала экспертное заключение о согласовании перекладки коксовой батареи № 3 Кузнецкого металлургического комбината при выполнении некоторых условий, зафиксированных в протоколе соответствующего технического совещания [23]. Кемеровский областной центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора также согласовал этот проект при соблюдении аналогичных условий. Между тем происходящее на этом комбинате затрагивает интересы многих жителей Новокузнецка, так как при производстве кокса в окружающую среду поступает значительное количество химических соединении, вредных для здоровья населения, в частности, вызывающих онкологические и другие заболевания. В данном случае обжалование положительного заключения государственной экологической экспертизы осуществлялось с позиции закона. А именно, не выполнено требование Закона РФ «Об охране окружающей среды» о научной обоснованности и законности выводов экспертизы. Не обеспечены независимость и вневедомственность в организации и проведении экспертизы. Отсутствует широкая гласность и недостаточно участие общественности. Нарушено требование Закона о недопустимости согласования проектной документации при наличии каких-либо невыполненных условий.

Законные требования были предъявлены в интересах государства и граждан в суд путем иска. В иске говорилось о признании незаконными выводов государственной экологической экспертизы Кемеровского областного комитета экологии по проекту перекладки коксовой батареи Кузнецкого металлургического комбината. Иск был удовлетворен**.**

О процедуре государственной экологической экспертизы. Целесообразно остановиться на процедурных правилах экологической экспертизы. Приведем некоторые правовые нормы, показывающие, кто и за что должен отвечать (см. также постатейный комментарий [29] к Закону РФ «Об экологической экспертизе»).

Правительство Российской Федерации осуществляет меры по обеспечению законов, а также прав граждан и юридических лиц в области экологической экспертизы. К ведению субъектов Российской Федерации относится делегирование экспертов для участия в качестве наблюдателей в заседаниях экспертных комиссий, информирование населения о намечаемых и проводимых экологических экспертизах и их результатах.

Федеральный специально уполномоченный государственный орган в области экологической экспертизы (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) — федеральный орган исполнительной власти, находящийся в ведении Правительства Российской Федерации.) и его территориальные отделения уполномочены получать бесплатно от государственных органов независимо от их принадлежности информацию, необходимую для выполнения задач в области экологической экспертизы. Они имеют доступ к находящимся в распоряжении государственных органов базам данных о состоянии окружающей среды и возможных последствиях негативно-го воздействия на нее хозяйственной и иной деятельности. Они имеют право и обязанность направлять в банковские организации представления о приостановлении (прекращении) финансирования, кредитования и других финансовых операций в отношении объектов экологической экспертизы, не получивших положительного заключения государственной экологической экспертизы. Их задача — предварительно информировать органы государственной власти и органы местного самоуправления о проведении заседаний экспертных комиссий государственной экологической экспертизы по объектам, реализуемым на территории соответствующих органов. Они должны организовывать информационное обеспечение государственной экологической экспертизы, в том числе формирование и ведение банков данных о намечаемой деятельности, реализации объектов экологической экспертизы и о негативном воздействии намечаемой деятельности на окружающую среду. Именно они предоставляют для ознакомления общественным объединениям, осуществляющим общественную экологическую экспертизу, нормативно-технические документы, которые устанавливают требования к проведению экологической экспертизы. Они направляют органам местного самоуправления, общественным объединениям и гражданам, представившим аргументированные предложения, материалы о рассмотрении этих предложений при проведении государственной экологической экспертизы, информацию о заключении государственной экологической экспертизы. Они же предоставляют средствам массовой информации по их запросам сведения о результатах проведения государственной экологической экспертизы.

Территориальные экологические органы обязаны своевременно информировать органы прокуратуры о нарушении законодательства РФ и законодательства субъектов РФ, готовить и направлять другим правоохранительным органам соответствующие материалы по вопросам привлечения к ответственности лиц, виновных в совершении нарушений законодательства РФ об экологической экспертизе.

Ближе всех к населению находятся органы местного самоуправления, которые могут делегировать своих экспертов в качестве наблюдателей на заседаниях экспертных комиссий государственной экологической экспертизы. Причем не только по объектам, расположенным на своей территории, но и в случаях возможного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности, намечаемой другой административно-территориальной единицей. Органы местного самоуправления организовывают общественные обсуждения, проводят опросы, референдумы среди населения о намечаемой хозяйственной и иной деятельности, которая подлежит экологической экспертизе.

Они организовывают по требованию населения общественную экологическую экспертизу и финансируют ее проведение. Их обязанность — информировать органы прокуратуры, территориальные специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей природной среды, органы государственной власти субъектов РФ о начале реализации объекта экологической экспертизы без положительного заключения государственной экологической экспертизы.

Для того чтобы быть в состоянии реализовать эти полномочия, органы местного самоуправления вправе получать от соответствующих государственных органов необходимую информацию об объектах экологической экспертизы, реализация которых может оказывать воздействие на окружающую среду в пределах территории соответствующего муниципального образования и о результатах проведения государственной экологической экспертизы и общественной экологической экспертизы.

В *обязанности заказчиков* документации, подлежащей экологической экспертизе, входит передача государственным органам экспертизы и общественным объединениям, организующим проведение экспертизы, необходимых материалов, сведений, расчетов, дополнительных разработок относительно объекта экспертизы. Кроме того, они должны оплатить проведение государственной экологической экспертизы и осуществлять намеченную деятельность исключительно в соответствии с документацией, получившей положительное заключение государственной экологической экспертизы.

В Федеральном законе «Об экологической экспертизе» постоянно упоминаются специально уполномоченные государственные органы в области экологической экспертизы. Федеральный специально уполномоченный государственный орган в области экологической экспертизы и его территориальные органы имеют исключительное право на проведение государственной экологической экспертизы. Они осуществляют эту функцию через свои подразделения, специализированные в области организации и проведения государственной экологической экспертизы.

Не следует смешивать государственную и общественную экологическую экспертизы с иными смежными мероприятиями, не обладающими описанными правовыми статусами: экологическими исследованиями, научными оценками и т.п., имеющими нередко те же цели, но не обеспечиваемыми соответствующими нормами права.

Чем обеспечиваются гарантии качества проведения государственной экологической экспертизы? В представляемую на экспертизу *документацию*, подготовленную заказчиком и разработчиком проекта или документа, должны быть включены материалы оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности. Требуются также положительные заключения и документы о согласовании от органов федерального надзора и контроля и органов местного самоуправления. Кроме того, необходимы и материалы обсуждений объектов с гражданами и общественными организациями (объединениями), организованных органами местного самоуправления.

Повторное проведение государственной экологической экспертизы осуществляется на основании решения суда или арбитражного суда.

Эксперт государственной экологической экспертизы обязан участвовать в подготовке материалов, обосновывающих учет при проведении государственной экспертизы заключения общественной экспертизы, а также поступивших от органов местного самоуправления, общественных организаций (объединений) и граждан аргументированных предложений по экологическим аспектам рассматриваемой деятельности. Он имеет право заявлять о необходимости представления заказчиком на экспертизу дополнительных материалов для всесторонней и объективной оценки объектов, формулировать свое особое мнение по объекту экологической экспертизы.

Заключение государственной экологической экспертизы — это документ, содержащий обоснованные выводы о допустимости воздействия на окружающую среду хозяйственной или иной деятельности и о возможности реализации объекта экспертизы. Он должен быть одобрен квалифицированным большинством списочного состава экспертной комиссии (более двух третей экспертов от списочного состава). Утверждение заключения экспертной комиссии специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы означает подтверждение последним соответствия порядка проведения экспертизы требованиям законов Российской Федерации и законов ее субъектов. После этого утверждения заключение государственной экологической экспертизы обретает правовую силу, в частности, на его основе банкам может быть разрешено (при положительном заключении) или запрещено (при отрицательном заключении) финансирование реализации объекта экологической экспертизы.

Гарантии защиты экологических прав граждан. Рассмотрим некоторые *правовые гарантии* обеспечения требований к экологической экспертизе, способствующие защите экологических прав граждан.

Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ предусматривается *обязанность государства* гарантировать экологическим и иным общественным организациям (объединениям), выполняющим экологические функции, а также отдельным гражданам возможность реализации предоставленных им прав в области охраны окружающей среды. Государственные органы и их должностные лица обязаны оказывать всемерное содействие общественным организациям (объединениям) и гражданам в реализации их экологических прав и обязанностей, принимать необходимые меры по выполнению их предложений, связанных с организацией правоохранительной деятельности.

Должностные лица и граждане, препятствующие выполнению общественными организациями (объединениями) и гражданами их экологических прав и обязанностей, вытекающих из Конституции Российской Федерации и законов РФ, относящихся к экологическому праву, привлекаются к ответственности. В частности, согласно Закону РФ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. должностные лица и граждане, предприятия, учреждения, организации, виновные в невыполнении обязанностей по проведению государственной экологической экспертизы и требований, содержащихся в заключениях экологической экспертизы, подлежат наказанию. Ответственность наступает также при предоставлении заведомо неправильных и необоснованных экспертных заключений, несвоевременной или искаженной информации, при отказе от предоставления своевременной, полной, достоверной информации о состоянии природной среды и радиационной обстановки. Обычно физические и юридические лица подвергаются штрафу, налагаемому в административном порядке. Наказание гражданам — до десятикратного размера минимальной заработной платы, должностным лицам — до двадцатикратного.

Законом Российской Федерации «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 г. предусматривается большое количество норм, обеспечивающих организацию и проведение экологической экспертизы, защиту прав граждан. Значительное внимание уделяется ответственности за нарушение законодательства как одному из средств гарантий качества экологической экспертизы с целью обеспечения надлежащей окружающей среды.

Экологическое право постепенно развивается, виды экологических правонарушений конкретизируются, санкции к виновным ужесточаются. Так, правонарушениями со стороны заказчика и других заинтересованных лиц со дня опубликования Федерального закона «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ считаются фальсификация материалов, сведений и данных, представляемых на экологическую экспертизу, а также сведений о результатах ее проведения. Правонарушением является принуждение эксперта к подготовке заведомо ложного заключения; создание препятствий организации и проведению экологической экспертизы. Недопустимо уклонение от представления государственным органам экспертизы и общественным организациям (объединениям), организующим и проводящим экологическую экспертизу, необходимых материалов, введений и данных. Запрещается осуществление хозяйственной и иной деятельности, не соответствующей документации, которая получила положительное заключение государственной экологической экспертизы.

Нарушением со стороны руководителей государственных органов экспертизы и экспертных комиссий признается необоснованность материалов по учету выводов общественной экологической экспертизы и поступивших от органов местного самоуправления, общественных организаций (объединений), граждан аргументированных предложений по экологическим аспектам хозяйственной и иной экспортируемой деятельности. Недопустимо нарушение установленного порядка расходования перечисленных заказчиком средств на проведение государственной экологической экспертизы.

Руководители и члены экспертной комиссии несут ответственность за фальсификацию выводов заключения экологической экспертизы, *за сокрытие* от органов государственной экологической экспертизы или от общественного объединения, организующих проведение экологической экспертизы, сведений, отражающих заинтересованность в результатах экспертизы. Так, экспертом не может быть представитель заказчика или разработчика, гражданин, состоящий в трудовых или договорных отношениях с ними, представитель юридического лица, состоящего с заказчиком или разработчиком объекта экологической экспертизы в договорных отношениях.

Конкретные методы сбора и анализа экспертных оценок не рассматриваются в проанализированных выше законах. Эти методы содержатся в нормативно-технических и инструктивно-методических материалах органов, руководящих проведением экологических экспертиз. Общие методы организации и проведения экспертных исследований получили имеющую правовую силу конкретизацию в конкретной области — экологических экспертизах. В других крупных областях применения экспертных оценок — при оценке качества, при проведении врачебно-трудовой экспертизе и др. — действуют свои нормативные акты. Так, применение экспертных оценок в области менеджмента в техносфере, включая управление персоналом и действие в чрезвычайных ситуациях, рассмотрено в [30], а их применение в промышленной и экологической безопасности — в [31].

В настоящей главе на примере экологических экспертиз показано, с каким большим количеством управленческих, правовых и экономических проблем сталкивается организатор экспертной деятельности в конкретной области, в данном случае — в экологии. Отметим, что по своей внутренней сути технологии экспертных исследований достаточно универсальны, их можно применять в самых разных областях. Именно поэтому в законах [24, 25], относящихся к конкретной области человеческой деятельности, экспертные технологии не раскрываются и не нормируются. И по той же причине основное содержание настоящего учебника посвящено общим для всех конкретных областей методам сбора и анализа экспертной информации.

Контрольные вопросы

1. Для решения каких задач применяются экспертные оценки в задачах экологического страхования и обеспечения экологической безопасности?
2. Каковы задачи и принципы экологической экспертизы?
3. Какова роль общественности в экологической экспертизе?
4. Чем гарантируются права граждан на участие в экологической экспертизе?
5. За что наступает ответственность в области экологической экспертизы?
6. Каковы обязанности участников экологической экспертизы?

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Экологические проблемы в современном мире.
2. Применение метода проверки гипотез по совокупности малых выборок (раздел 7.3) при проведении статистического контроля и мониторинга согласно Закону РФ «Об охране окружающей среды».
3. Экологическое страхование в России и за рубежом.
4. Экологическая безопасность и роль экспертных технологий в ее обеспечении.
5. Проанализируйте экологическое состояние известной Вам организации, оцените ее воздействие на окружающую среду.
6. Государственная экологическая экспертиза: назначение, цели, требования к проведению.
7. Организация и проведение экологической экспертизы.

8. Правовые основы экологической экспертизы.

9. Проблемы взаимодействия экологических органов и промышленных предприятий.

10. Общественность и экологические проблемы точечной застройки.

11. Деятельность отечественных и международных экологических организаций.

Литература

1. К вопросу о критериях химической опасности промышленных производств при их страховании / В.Н. Новосельцев, Г.М. Арбузов, Б.М. Лоскин [и др.] // Труды Первой Всероссийской конференции «Теория и практика экологического страхования». — Москва, 1995. — С. 82–83.

2. *Бурков, В.Н.* Экономические механизмы обеспечения безопасности / В.Н. Бурков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1992. — № 8. — С. 21–36.

3. *Лесных, В.В.* Сравнительный анализ и оценка страховых тарифов для российских атомных станций / В.В. Лесных, Ю.В. Наумов, Т.В. Ковалева // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1995. — № 2. — С. 51–60.

4. *Онищенко, В.Я.* Ранжирование производств по экологическому риску / В.Я. Онищенко // Безопасность труда в промышленности. — 1995. — № 8. — С. 24–26.

5. *Горский, В.Г.* Безопасность объектов в техносфере (проблемы химической безопасности) / В.Г. Горский // Заводская лаборатория. — 1990. — Т. 71. — № 1. — С. 3–10.

6. *Пэнтл, Р.* Методы системного анализа окружающей среды / Р. Пэнтл ; перевод с английского Н.Н. Моисеева. — Москва : Мир, 1979. — 216 с.

7. *Хенли, Э.Дж.* Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото ; перевод с английского В.С. Сыромятникова. — Москва : Машиностроение, 1984. — 528 с.

8. *Брушлинский, Н.Н.* Оценка риска пожаров и катастроф / Н.Н. Брушлинский, Ю.М. Глуховенко // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1992. — № 1. — С. 13–32.

9. *Ferney, M.J.* Plant / M.J. Ferney // Oper. Progr. — 1991. — V. 10. — № 3. — P. 133–135.

10. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. — New York : Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989. — 585 p.

11. High Risk Safety Technology / edited by A.E. Green. — New York : Wiley, 1982. — 654 p.

12. Методология выбора возможных мест размещения опасных объектов на территории страны (на примере объектов по уничтожению химического оружия) / И.Б. Евстафьев, А.И. Яненко, В.Н. Фокин, Д.Л. Браун // Журнал ВХО им. Менделеева. — 1990. — Т. 35. — № 4. — С. 481–492.

13. Войсковые технические средства индикации ОВ и возможности их использования при ликвидации химического оружия / И.Н. Торгун, В.И. Холстов, А.И. Яценко // Российский химический журнал. — 1993. — № 3. — С. 14–17.

14. Подходы к оценке технологий уничтожения химического оружия / В.И. Холстов, В.А. Жданов, В.М. Кошелев // Российский химический журнал. — 1994. — № 2. — С. 42–47.

15. *Петров, С.В.* Экспертная оценка технологий уничтожения запасов люизита / С.В. Петров // Российский химический журнал. — 1995. — № 4.

16. Основы методологии оценки технологий уничтожения химического оружия / С.В. Петров, В.И. Холстов, Н.В. Завьялова [и др.] // Российский химический журнал. — 1995. — № 4. — С. 42–45.

17. Прогнозирование болезней, подлежащих мониторингу в районах хранения и уничтожения химического оружия / М.А. Пронин, В.М. Шолохов, В.А. Лисовой [и др.] // Российский химический журнал. — 1994. — № 2. — С. 88–93.

18. *Sielken, R.L.* Useful tools for evaluating and presenting more science in quantitative cancer risk assessment / R.L. Sielken // Toxic Substances Journal. — 1989. — V. 9. — № 4. — P. 353–404.

19. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических исследованиях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

20. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. — Москва : Наука, 1985. — 222 с.

21. *Орлов, А.И.* Экспертные оценки / А.И. Орлов // Заводская лаборатория, 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54–60.

22. Методологические основы ранжирования и классификации промышленных объектов, подлежащих экологическому страхованию / В.Г. Горский, А.И. Орлов, В.К. Курочкин [и др.] // Труды Второй Всероссийской конференции «Теория и практика экологического страхования». — Москва : Ин-т проблем рынка РАН, 1996. — С. 7–12.

23. Экология / под редакцией С.А. Боголюбова. — Москва : Знание, 1999. — 288 с.

24. Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ : принят Государственной Думой 19 июля 1995 г. : одобрен Советом Федерации 15 ноября 1995 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 27 ноября 1995 г. — № 48. — Ст. 4556; Российская газета. — 30 ноября 1995 г.

25. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ : принят Государственной Думой 20 декабря 2001 г. : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г. // Российская газета. — 12 января 2002 г. — № 6 ; Парламентская газета. — 12 января 2002 г. — № 9 ; Собрание законодательства Российской Федерации. — 14 января 2002. — № 2.

26. Федеральный закон «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г. № 5485-1 // Российская газета. — 21 сентября 1993 г. — № 182 ; Собрание законодательства Российской Федерации. — 13 октября 1997 г. — № 41.

27. *Боголюбов, С.А.* Экологическое право : учебник / С.А. Боголюбов. – Москва : Юрист, 2004. — 430 с.

28. *Боголюбов, С.А.* Экологическое право / С.А. Боголюбов. — Москва : Высшее образование, 2006. — 485 с.

29. *Кичигин, Н.В.* Комментарий к Федеральному закону «Об экологической экспертизе» от 23 ноября 1995 г. (постатейный) / Н.В. Кичигин, М.В. Пономарев, А.Ю. Семьянова. — Москва : Юстицинформ, 2006. — 192 с.

30. *Орлов, А.И.* Менеджмент в техносфере : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев. — Москва : Академия, 2003. — 384 с.

31. Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие / В.Н. Федосеев, А.И. Орлов, В.Г. Ларионов, А.Ф. Козьяков. — 2-е изд. — Москва : Изд-во УРАО, 2003. — 220 с.

32. *Гаврилова, В.Д.* Экологическая безопасность: подземные безоболочечные резервуары в многолетнемерзлых грунтах для захоронения отходов бурения / В.Д. Гаврилова, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 117. — С. 50–70.

33. *Лойко, В.И.* Высокие статистические технологии и системно-когнитивное моделирование в экологии : монография / В.И. Лойко, Е.В. Луценко, А.И. Орлов. — Краснодар : КубГАУ, 2019. — 258 с.

ГЛАВА 10. ЭКСПЕРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ РИСКОВ

В качестве примера использования экспертных оценок при разработке вероятностно-статистических 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.

10.1. 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. Т.е. осуществить глубокий аутсорсинг, настолько глубокий, что научно-исследовательский коллектив не стремится иметь юридическое лицо. Отметим, что в современном мире всё чаще используется модель аутсорсинга. По-русски *outsourcing* звучит как «заимствование ресурсов извне». Другими словами, аутсорсинг — это выполнение сторонней организацией определенных задач или некоторых бизнес-процессов, обычно не являющихся профильным для бизнеса компании, но, тем не менее, 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 [1, гл. 1.4]. Напомним, что разработке и освоению нововведений препятствует множество факторов: 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 коммерционализация, проект может многократно перепродаваться, переходя при этом со стадии на стадию. При подготовке к коммерционализации инновационный проект дорабатывается с целью выявления его коммерческой привлекательности и становится инновационным бизнес-проектом.

Коммерциализацию зачастую целесообразно проводить в форме Интернет-аукциона, т.е. на основе современных информационных технологий электронной коммерции. С точки зрения электронной коммерции особенностью коммерциализации инновационного проекта в области высокой технологии 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 коммерционализации 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.). Отметим, что 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 1 инновационного проекта ***— формирование идеи***, которая ляжет в его основу. Рождение идеи — это творческий процесс. Автором идеи является конкретное физическое лицо (или группа лиц). Юридической защиты авторство не имеет. 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 договора 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 коммерционализации инновационных проектов результаты этапа 4 подтверждают и развивают первоначальную идею. Они дают потенциальным покупателям основания для участия в Интернет-аукционе, демонстрируя поддержку идеям авторов проекта со стороны научной общественности.

Этап 5. Разработка «а-модели». 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 так называемая «*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.   Именно на этапе 5 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 промышленному 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 развертыванием кабинетных исследований потребителей и конкурентов переходят к полевым исследованиям.

Этап 7. Оценка эффективности. Если маркетинговые исследования показывают целесообразность дальнейшей проработки заявки на коммерциализацию инновационного проекта, то следующим этапом является оценка эффективности 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, прежде всего, информационная, организационно-методическая и инструментальная среда, соединяющая интересы продавцов и покупателей информации об инновационных технологиях и/или прав на них. Выделим 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), в частности, 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 так называемая «*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 эффективности реализации проекта. Очевидно, должны быть оценены краткосрочные и долгосрочные последствия реализации проекта — социальные, технологические, экологические, экономические, политические. В частности, для инвесторов представляет интерес срок окупаемости.

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 [31]. 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, т.е. 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 троекратную 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. Другими словами, 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 $8 \times 6 = 48$ 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, что 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-технологической 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 (ИЦ) — аналитического консалтингового центра, предназначенного 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. Задачи таковы:

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 проведении 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. Как показано выше, 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, таким образом, 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 (т.е. пробных) партий товара, и т.п. Все возможности маркетинга используются при проведении организационно-экономической поддержки инновационных проектов.

Базовой целью Инновационного центра (ИЦ), занимающегося организационно-экономической поддержкой инновационных проектов в области высоких технологий, является 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. 10.1):

1) информационная;

2) экономическая;

3) правовая (юридическая).

Реализация всех трех составляющих основана на интенсивном использовании современных информационных технологий. Компьютерная составляющая ИЦ должна обеспечивать информационный обмен при подготовке Интернет-аукционов и проведение самих Интернет-аукционов.

Укрупненная принципиальная схема этапов разработки и трансфера технологий дана на рис. 10.2, а общая модель передачи технологий — на рис. 10.3. 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, консультирует 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. 10.4.

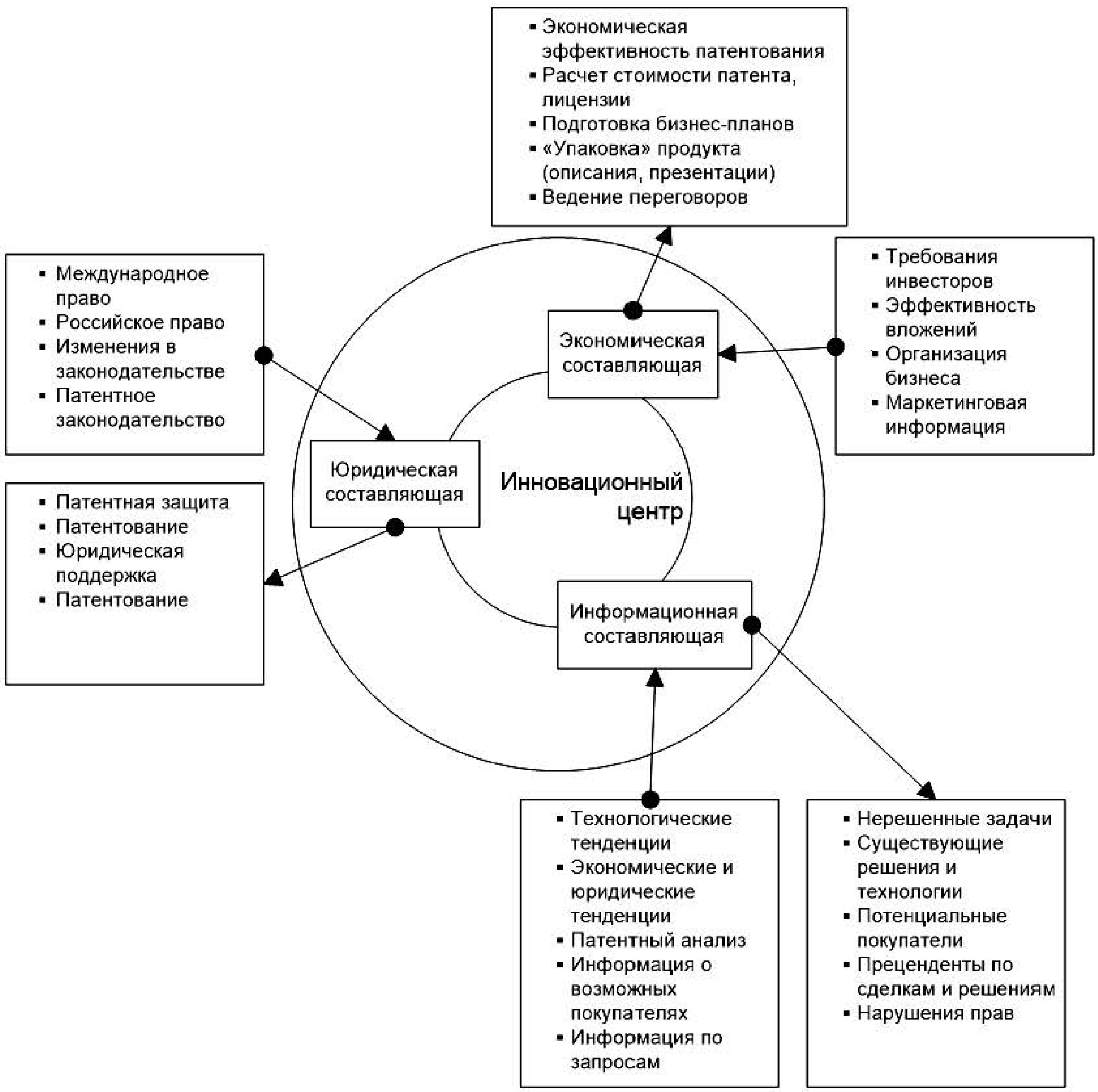


Рис. 10.1. Основные составляющие структуры ИЦ

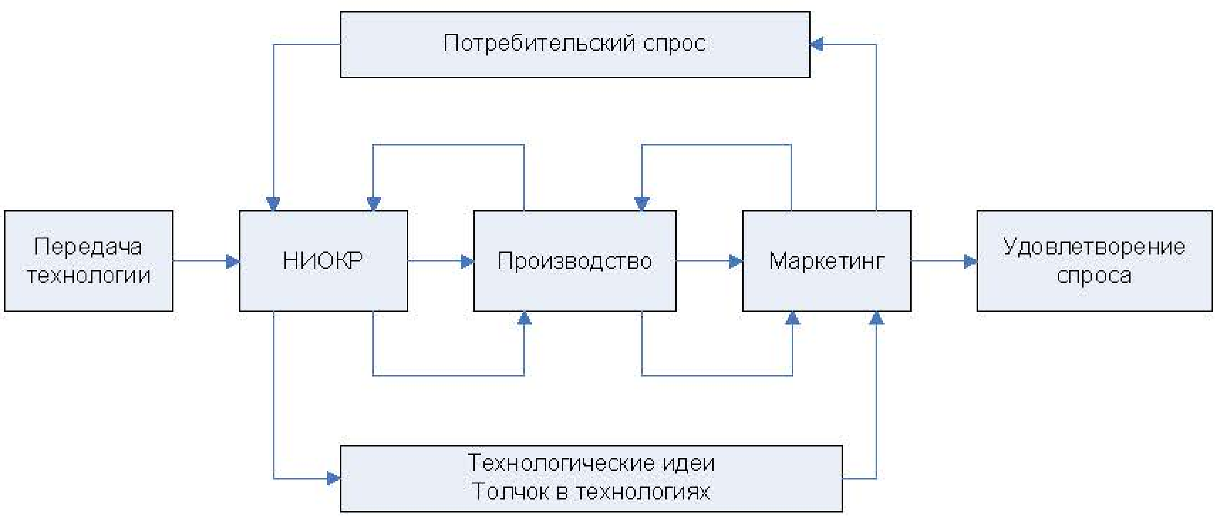


Рис. 10.2. Схема передачи технологий

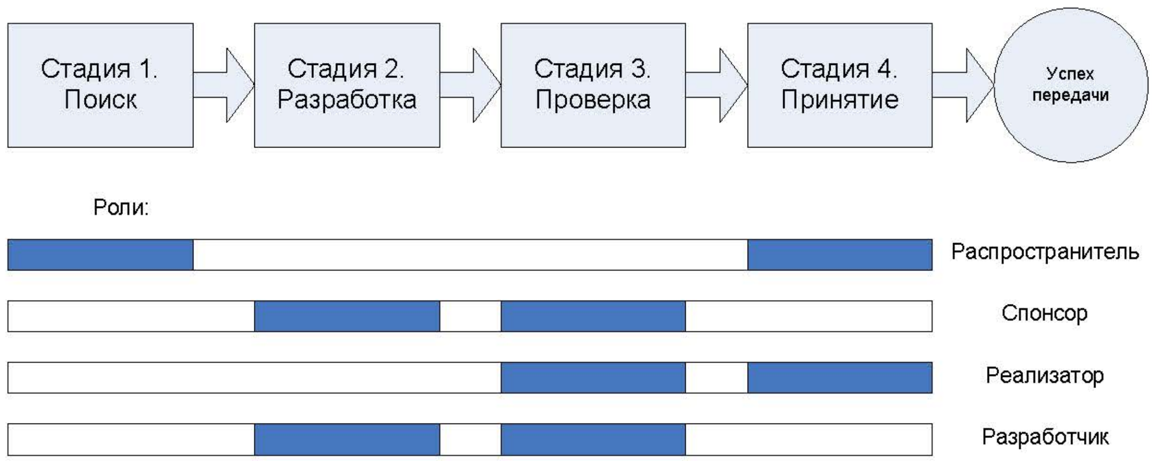


Рис. 10.3. Модель трансфера технологий

Рис. 10.4. Взаимосвязь групп методов трансфера технологий

10.2. Инновационные проекты в вузах

Большая часть научного потенциала страны сейчас сосредоточена в российских вузах. Квалификация работников была и 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 путем финансирования научно-технической разработки инновационного проекта в вузе. При этом 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. Главными факторами, на которых сосредотачиваются мероприятия по снижению уровня инновационных рисков, выступают объем и надежность информации об источниках риска, а также 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. Основной целью данной главы как раз и является 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 экономико-математических 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;

2) разработку технологии выпуска продукции.

В деятельности внешнего партнера также можно выделить этапы, например, такие:

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 компьютерной сети, 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.

10.3. Модель инновационного проекта

Начнем с выделения основных факторов, определяющих риски реализации инновационных проектов в вузах.

Замечание. 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, т.е. ситуация в народном хозяйстве (степень выраженности неплатежей, 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», т.е. итога а) согласно приведенной выше классификации, при этом риск того, что инновационный проект не будет осуществлен полностью, оценивается вероятностью «отсутствия полного успеха», т.е. 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, т.е. представлять в виде:

$$P_n = 1 - A_{1n}X_{1n} - A_{2n}X_{2n} - \ldots - A_{Kn}X_{Kn},\ n = 1, 2, 3, 4,$$

где X_{1n}, X_{2n}, ..., X_{Kn} — факторы (переменные), используемые при вычислении оценки риска типа n; A_{1n}, A_{2n}, ..., A_{Kn} — коэффициенты весомости (важности) этих факторов.

Значения факторов X_{1n}, X_{2n}, ..., X_{Kn} оценивают эксперты для каждого конкретного инновационного проекта, в то время как значения коэффициентов весомости A_{1n}, A_{2n}, ..., 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, т.е. 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.

Отметим, что построенная мультипликативно-аддитивная 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 10.1. 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 (несостоятельном 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 10.2. Если итоговые (групповые) оценки экспертов таковы: $Y_1 = 1$; $Y_2 = 4$; $Y_3 = 0$, то $P_2 = 1 - \mathrm{A}_1Y_1 - A_2Y_2 - A_3Y_3 = 1 - 0{,}01 - 0{,}32 - 0 = 0{,}67$.

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 10.3. 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 10.4. 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:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4,$$

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 10.1–10.4, 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 табл. 10.1 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 10.1

Варианты расчета вероятности реализации инновационного проекта в вузе

Коэффициенты 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					
An	$W_n(1)$	$W_n(2)$	$W_n(3)$	$W_n(4)$	$W_n(5)$
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					
$P_1P_2P_4$	0.76	0,13	0,01	0,02	0.3
Вероятность выполнения работ без учета риска страны					
$P_1P_2P_3$	0,73	0,15	0,01	0,37	0,4
Вероятность выполнения работ без учета риска вуза					
$P_1P_3P_4$	0,73	0,16	0,07	0,02	0,37
Вероятность выполнения работ в вузе					
P_1P_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 [2]. Рассмотренная в настоящем разделе аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков с успехом используется в ракетно-космической отрасли [32–34].

10.4. 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, книги [3–13]). Как часть теории принятия решений существует научная дисциплина «Математические методы прогнозирования». Ее целью является 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 (прежде всего, 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 [1, 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 оказывается полезным промежуточный путь между прогнозированием и планированием — так называемое нормативное прогнозирование. При его применении сначала задается цель (т.е. «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 (т.е. 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 используют 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 [14], что обычно используемые статистические оценки степени полинома при росте объемы 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 [14, 15].

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 (так называемых «малых») объемах выборок полезны компьютерные статистические технологии. Они позволяют также 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, включающий, а также регрессионный анализ нечетких данных, разработанный в монографии [16] — 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) дает 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 анализа, 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.

Как отмечалось в предыдущих главах настоящего учебника, 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, т.е. 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, т.е. 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. Как уже отмечалось, 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 10.5. Для прогнозирования продаж на предприятиях оптовой торговли может быть полезен метод наименьших квадратов [35].

Пример 10.6. Работа [17] 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 10.7. В работе [18] на основе экспертных методов с использованием сценарного метода прогнозируется развитие социально-экономической ситуации в России до 2012 г., а в работе [9] — до 2078 г.

Пример 10.8. 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 [19].

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 то 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», то развитие продолжалось бы в прежних условиях. Тогда к концу тысячелетия ВВП СССР увеличился бы на 50 % и составил 150 % от уровня 1985 г. Из-за «перестройки» и «реформ» ВВП России за эти 15 лет упал примерно в 2 раза, т.е. составил около 50 % по сравнению с 1985 г. Следовательно, в 3 раза меньше, чем можно было бы ожидать из чисто экономических причин при сохранении стабильных условий 1985 г. С 1999 г. ВВП России растет, но к 2006 г. уровень 1990 г. еще не достигнут.

Часто используют, в частности, при разработке бизнес-планов инвестиционных проектов, 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.

Ясно, что 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 евклидова 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.

10.5. 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 управляющих 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 необходимо 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, т.е. действий потребителей и конкурентов;

- финансовые риски, определяемые макроэкономической ситуацией;

- риски, возникающие на уровне государства и Земли в целом [36].

Затем необходимо изучить степень их влияния на показатели эффективности деятельности организации с целью выделения наиболее значимых.

После этого целесообразно провести изучение различных способов 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 прежде всего относятся риски, связанные с выпуском дефектной продукции. Хорошо известно, что при массовом производстве невозможно обеспечить выпуск продукции без дефектов. Поэтому действуют отделы технического контроля (ОТК), 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 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 финансирование 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 действий 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 прежде всего риски, связанные с колебаниями 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 — число спекулятивный характер. К этому же типу можно отнести риски, связанные с нестабильностью законодательства и текущей экономической политики (т.е. с деятельностью руководства страны, министерств и ведомств). Дополнительные проблемы создает множественность нормативно-правовых актов, регулирующих хозяйственно-экономическую деятельность организации (порядка 10^4, 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. 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) 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 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 [19]. 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 уровне (что существенно, если «организация» — это муниципальный или государственный орган власти или его подразделение типа налоговой инспекции).

10.6. 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 применяются 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, т.е. 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», как уже отмечалось, 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 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.

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, т.е. 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 интуицию 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 (т.е., как говорят и пишут математики, любой элемент действительной прямой, традиционно обозначаемой 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 (т.е. гауссовских), экспоненциальных или иных. Однако обычно подобное предположение является мало обоснованным — 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 так называемое *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 варианта 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 [14, 15]. 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 экологической 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 учебном пособии [14] и статье [20].

Итак, 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, т.е. 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, т.е. 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, соответствующим 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 характеристик ущерба.

Подчеркнем здесь, что характеристик случайного ущерба имеется много. Выше перечислено 7 видов, причем некоторые из них — второй, шестой и седьмой — содержат бесконечно много конкретных характеристик. Нельзя ограничиваться только средним ущербом, под которым обычно понимают математическое ожидание, хотя медиана ущерба не меньше соответствует этому термину. Весьма важны верхние границы для ущерба, т.е. квантили порядка a, где a близко к 1, например, $a = 0{,}999999$. При этом с вероятностью, не превосходящей 0,000001, реальный ущерб будет меньше $x(0{,}999999)$. Сложные проблемы состоят в обоснованном вычислении границы $x(0{,}999999)$, их мы не будем здесь касаться.

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 (т.е. 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 распределе-

ния 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 [21], 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 постановок. Первая из них — минимизация средних потерь — представляется вполне естественной, если все возможные потери малы по сравнению с ресурсами предприятия. 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 $50\,000 \times 0{,}5 + (-20\,000) \times 0{,}5 = 15\,000$. 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, например, 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, т.е. описывается интервалами, то естественно применить методы статистики интервальных данных (как части интервальной математики), рассчитать минимальный и максимальный возможный доходы и потери и т.д.

Разработаны различные способы уменьшения экономических рисков, связанные с выбором стратегий поведения, в частности, диверсификацией, 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 — не простое 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, потому, что сводки Росстата (ранее — Госкомстата РФ) искажены (подробнее о состоянии теории и практики статистики в России см. главу 1 в учебном пособии [14] и статью [20]). 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 [14]).

Зарубежные источники также содержат неточности. Так, при составлении балансовых соотношений для макроэкономических показателей по данным [22] выяснилось, что государство должно иметь дополнительный источник доходов в несколько сотен миллиардов долларов, а доходы бизнеса имеют излишек в 30 млрд долл. Другими словами, популярное учебное пособие [22] содержит данные, не согласующиеся друг с другом (подробнее см. [15, гл. 10]).

Подходы к управлению рисками. При оценке, анализе и управлении рисками могут оказаться полезными известные публикации по методам учета финансового риска [23–27]. 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 рисковый) 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 (т.е. значений параметра управления), оптимальных по Парето. Эти решения оптимальны в том смысле, что не существует возможных решений, которые бы 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 [28]).

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 (см. также главу 8 выше). Один из подходов – выбрать так называемый «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 [29]). 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.

Отметим, что 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 наблюденных величин ущерба. При этом необходимо вычислять доверительные интервалы, содержащие оцениваемые теоретические характеристики с заданной доверительной вероятностью [14, 15]. 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 50-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 переборных (перебирая возможные значения управляющих параметров с маленьким шагом), либо методом случайного поиска, поскольку быстродействие современных компьютеров позволяет это сделать.

В риск-менеджменте (т.е. 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 [30], 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 тех или иных товаров через 10–20 лет, например, нефти и «больших» компьютеров. Большое значение на этом уровне имеют теория прогнозирования и экспертные оценки.

Экспертные технологии оценки рисков находят широко применение при решении практических задач, в частности, при оценке кредитных рисков [37, 38], для обеспечения безопасности авиационных перевозок [39]. Современная теория рисков занимает заметное место в цифровой экономике, ее развитию посвящены работы [41, 42].

Контрольные вопросы

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?

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).

Литература

1. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

2. *Вологжанина, С.А.* Об одном подходе к оценке рисков для малых предприятий (на примере выполнения инновационных проектов в вузах) / С.А. Вологжанина, А.И. Орлов // Подготовка специалистов в области малого бизнеса в высшей школе : сборник научных статей. — Москва : ЭЛИКС +, 2001. — С. 40–53.

3. *Бестужев-Лада, И.В.* Окно в будущее: Современные проблемы социального прогнозирования / И.В. Бестужев-Лада. — Москва : Мысль, 1970. — 269 с.

4. *Гаврилец, Ю.Н.* Социально-экономическое планирование: системы и модели / Ю.Н. Гаврилец. — Москва : Экономика, 1974. — 174 с.

5. *Загоруйко, Н.Г.* Эмпирическое предсказание / Н.Г. Загоруйко. — Новосибирск : Наука, 1979. — 124 с.

6. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор, Дж. Ботон, Д. Бердик [и др.] ; перевод с английского В.Ю. Лебедева и А.В. Лотова. — Москва : Мир, 1975. — 500 с.

7. *Сидельников, Ю.В.* Теория и организация экспертного прогнозирования / Ю.В. Сидельников. — Москва : ИМЭМО АН СССР, 1990. — 196 с.

8. *Сидельников, Ю.В.* Технология экспертного прогнозирования : учебное пособие / Ю.В. Сидельников. — 2-е изд., испр. — Москва : Доброе слово, 2004. — 284 с.

9. *Сидельников, Ю.В.* Стратегические горизонты для России (внешнеполитические и военные аспекты — 2078 год). Предварительная программа прогнозных исследований / Ю.В. Сидельников. — Москва : Институт экономических стратегий, 2005. — 72 с.

10. *Тейл, Г.* Эконометрические прогнозы и принятие решений / Г. Тейл. — Москва : Статистика, 1971. — 488 с.

11. *Френкель, А.А.* Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда / А.А. Френкель. — Москва : Экономика, 1972. — 190 с.

12. *Четыркин, Е.М.* Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин. — Москва : Статистика, 1977. — 184 с.

13. *Янч, Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч. — Москва : Прогресс, 1990. — 568 с.

14. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

15. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

16. *Орлов, А.И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные / А.И. Орлов. — Москва : Знание, 1980. — 64 с.

17. *Орлов, А.И.* Сценарии социально-экономического развития России до 2007 г. / А.И. Орлов // Обозреватель — Observer. — 1999. — № 10 (117). — С. 47–50.

18. *Орлов, А.И.* Грядущая смута 2012 г. // Вестник Академии Прогнозирования (исследований Будущего). — 2004 г. — № 12 ; Труды Академии прогнозирования. — 2004 г. — Вып. № 9. — С. 42–45.

19. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска / В.Г. Горский, Г.А. Моткин, Т.Н. Швецова-Шиловская [и др.]. — Москва : Экономика и информатика, 2002. — 260 с.

20. *Орлов, А.И.* О перестройке статистической науки и ее применений / А.И. Орлов // Вестник статистики. — 1990. — № 1. — С. 65–71.

21. *Пиндайк, Р.* Микроэкономика / Р. Пиндайк, Д. Рубинфельд. — Москва : Экономика ; Дело, 1992. — 510 с.

22. *Макконнелл, К.Р.* Экономикс: Принципы, проблемы и политика : в 2 томах / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю ; перевод с английского. — Москва : Республика, 1992.

23. *Балабанов, И.Т.* Риск-менеджмент / И.Т. Балабанов. — Москва : Финансы и статистика, 1996. — 192 с.

24. *Гвозденко, А.А.* Основы страхования / А.А. Гвозденко. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 304 с.

25. *Первозванский, А.А.* Финансовый рынок: расчет и риск / А.А. Первозванский, А.Н. Первозванская. — Москва : Инфра-М, 1994.

26. *Чернов, В.А.* Анализ коммерческого риска / В.А. Чернов. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 128 с.

27. *Четыркин, Е.М.* Методы экономических расчетов / Е.М. Четыркин. — Москва : Гамма, 1992.

28. *Подиновский, В.В.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. — Москва : Наука, 1982. — 256 с.

29. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

30. *Орлов, А.И.* Менеджмент в техносфере / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев. — Москва : Академия, 2003. — 384 с.

31. *Орлов, А.И.* 13 этапов инновационного процесса / А.И. Орлов // Инновации в менеджменте. — 2017. — № 4 (14). — С. 46–54.

32. *Орлов, А.И.* Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники / А.И. Орлов, А.Д. Цисарский // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2013. — № 43 (232). — С. 37–46.

33. *Орлов, А.И.* Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при создании ракетно-космической техники / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 102. — С. 78–111.

34. *Орлов, А.И.* Метод оценки рисков при создании ракетно-космической техники / А.И. Орлов, А.Д. Цисарский // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. — Сер. Машиностроение. — 2017. — № 2 (113). — С. 99–107.

35. *Емельянова, Е.А.* Методы прогнозирования продаж на предприятиях оптовой торговли / Е.А. Емельянова, А.И. Орлов // Контроллинг. — 2018. — № 1 (67). — С. 68–76.

36. *Орлов, А.И.* Многообразие рисков / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 111. — С. 53–80.

37. *Жуков, М.С.* Использование экспертных ранжировок при расчетах кредитного риска в банке / М.С. Жуков, А.И. Орлов // Инновации в менеджменте. — 2017. — № 1(11). — С. 18–25.

38. Жуков, М.С. Экспертные оценки в рисках / М.С. Жуков, А.И. Орлов, С.Г. Фалько // Контроллинг. — 2017. — № 4 (66). — С. 24–27.

39. Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок / А.А. Бутов, М.А. Волков, В.П. Макаров [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012. — Т. 14. — № 4 (2). — С. 380–385.

40. *Лойко, В.И.* Современная цифровая экономика / В.И. Лойко, Е.В. Луценко, А.И. Орлов. — Краснодар : КубГАУ, 2018. — 508 с.

41. *Орлов, А.И.* Подходы к общей теории риска / А.И. Орлов, О.В. Пугач // Управление большими системами. — Вып. 40. — Москва : ИПУ РАН, 2012. — С. 49–82.

42. *Орлов, А.И.* Современное состояние контроллинга рисков / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 98. — С. 933–942.

43. *Лындина, М.И.* Методы прогнозирования для ракетно-космической промышленности / М.И. Лындина, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 103. — С. 196–221.

ГЛАВА 11. РЕЙТИНГИ

Слово «рейтинг» происходит от английского *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 (разд. 10.3). Рейтинги используются в различных процедурах принятия решений, прежде всего для оценивания, выбора, планирования. В настоящей главе рассматриваются основные задачи построения рейтингов.

11.1. 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 [1, 2].

Исходными пунктами стратегического планирования являются:

- 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. Инструментами стратегического планирования являются анализ «разрывов», анализ шансов и рисков (сильных и слабых сторон), анализ портфеля, метод проверочного списка, метод оценки по системе баллов, концепция жизненного цикла товара, а также 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. 11.1). Надо иметь в виду, что речь идет не о стратегическом планировании для всего предприятия, а для его «стратегических подразделений». Они выделяются комбинациями «продукт-рынок», которые:

- однородны, т.е. 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 11.1

Матрица портфеля Бостонской консалтинговой группы

Рост спроса	**Доля рынка товаров различных типов**	
	Высокая	**Низкая**
Высокий	1. «Звезды»	3. «Знак вопроса»
Низкий	2. «Дойные коровы»	4. «Собаки»

Границы между «высокими» и «низкими» значениями определяют с помощью опроса экспертов. Внеся товары (с учетом их доли в обороте фирмы) в соответствующие клетки табл. 11.1, 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. Оправданы ли большие финансовые затраты на расширение их доли на рынке? Товары типа 4 (Собаки) «зарабатывают» лишь себе на жизнь.

На основе анализа табл. 11.1 можно проанализировать несколько возможных стратегий развития фирмы:

- «строить», т.е. «знаки вопроса» переводить в «звезды»;
- «держать», т.е. «дойные коровы» должны удерживать свои доли рынка и стремиться к росту, прежде всего, для поддержки «звезд» и «знаков вопроса»;
- «собирать урожай», т.е. не принимая во внимание долгосрочные последствия, снимать сиюминутные сливки (при этом идет речь о «слабых» — «дойных коровах», «собаках» и «знаках вопроса»);
- «выселяться», т.е. «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, обнаружив 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 табл. 11.1 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. 11.2 представлен бланк проверочного списка для проектов, состоящих в организации выпуска тех или иных товаров (стратегии типа «продукт-рынок»).

Таблица 11.2

Пример проверочного списка

Факторы	**Продукты**		
	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, что оценки даются в качественном виде (измерены в порядковой шкале — о шкалах измерения см. разд. 3.1). Любая количественная определенность была бы при подобных оценках лишь иллюзией.

Целесообразно разделить факторы на «обязательные», «необходимые» и «желательные», т.е. 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 11.1. Рассмотрим условный пример по вычислению и использованию единой суммарной оценки. Пусть оценки факторов 1 и 2 для продуктов А и Б даны в табл. 11.3 (для простоты изложения мы опускаем способы получения численных значений в табл. 11.3 — 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 11.3

Метод суммарной балльной оценки

Факторы	**Продукты**	
	А	**Б**
1	40 %	90 %
2	50 %	20 %

Суммарная оценка по продукту А равна:

$$0.67 \times 40\ \% + 0{,}33 \times 50\ \% = 26{,}8\ \% + 16{,}5\ \% = 43{,}3\ \%,$$

а суммарная оценка по продукту Б равна:

$$0.67 \times 90\ \% + 0{,}33 \times 20\ \% = 60{,}3\ \% + 6{,}6\ \% = 66{,}9\ \%.$$

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:

$$0.67 \times 50\ \% + 0{,}33 \times 60\ \% = 33{,}5\ \% + 19{,}8\ \% = 53{,}3\ \%,$$

т.е. 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 [3–7].

Однако все эти простые приемы или хитроумные компьютерные расчеты — лишь подспорье для менеджера. Именно он несет ответственность за судьбу фирмы, и именно на свое знание дела, на свою интуицию он должен полагаться при принятии решений в стратегическом менеджменте [1, 2, 8].

При обсуждении проблем стратегического менеджмента был 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 11.2. Рассмотрим в качестве примера матрицу портфеля Бостонской консалтинговой группы. Согласно этому методу подготовки управленческих решений товары, выпускаемые фирмой, распределяются по клеткам табл. 11.1. 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. Потребуются ли новые решения? И т.д.

Можно выделить этапы анализа ситуации, подготовки и принятия решения, анализа последствий [9]:

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, с какой периодичностью) необходимо принимать решение?

4. КАК (каким образом, в какой форме, каким документом) должно быть выражено решение?

5. ЧТО обусловливает 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 11.3. 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 11.4. 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. 11.4.

Таблица 11.4

Оценки фактов при выборе места работы

№ п/п	Факторы	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. 11.4 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, т.е. 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 11.5. В табл. 11.5 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. 11.5 ОАО «Мостермостекло» по конкурентоспособности находится на уровне одного из своих основных конкурентов и проигрывает второму 4 балла. Однако, повысив удобство монтирования 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 11.5

Сравнительная характеристика главных производителей изделий из стекловаты по факторам конкурентоспособности

№ п/п	Факторы конкурентоспособности	ОАО «Мостермостекло»	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 монтирования	3	4	5
1.6	Наличие сертификатов	5	5	5
2	***Цена***			
2.1	Продажная	5	3	2
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

Примечание: * — технико-экономическое планирование; ** — 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.

11.2. Веса факторов

В практике разработки управленческих решений приходится иногда вводить веса факторов.

Пример 11.6. При подготовке организационно-экономического обеспечения реализации проекта установки газоочистного оборудования на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» сравнивались четыре проекта (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Балльная оценка проектов

№ п/п	Приведенные показатели качества	Россия-1	Россия-2	Украина	Швеция	Вес
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 капительного 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
6	Энергетические затраты на очистку 1 000 $м^3$ газа	0,852	0,958	0,852	1	9
7	Масса	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 табл. 11.4 и 11.5 все веса были единичными, для табл. 11.6 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 [6, 10].

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

Пример 11.7. Простейшим вариантом является дихотомическая схема для наглядного представления возможных решений [9]. 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 решения 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 прежде всего 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 11.7 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. 11.1). 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. 11.1).

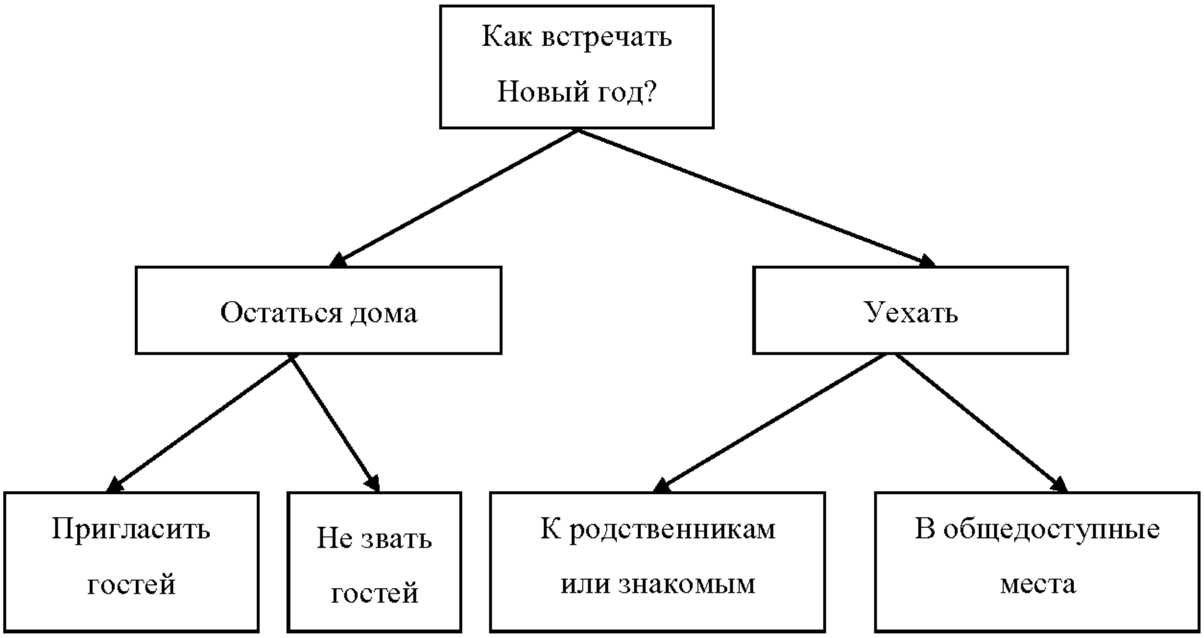


Рис. 11.1. Дерево решений – дихотомическая схема
для наглядного представления возможных решений

Пример 11.8. Приведем начало (корень) «Дерева решений проекта», использованного в практической работе.

Задача предприятия — производить качественные изделия из стекловолокна, т.к. 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 (т.е. 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 стекловаты. 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 11.9. Рассмотрим проблему борьбы с транспортным шумом [9]. Целесообразно выделить следующие типы мероприятий:

1) мероприятия, связанные с источником шума;

2) мероприятия на месте проявления шума;

3) мероприятия на пути распространения шума;

4) мероприятия, относящиеся ко всей системе транспортных средств;

5) мероприятия, связанные с реконструкцией транспортной системы и разработкой способов ее технико-экономической оценки.

В отличие от примера 11.7, 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) противошумное 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. Примерами подобных мероприятий являются:

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 предусмотрены 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 11.10. Рассмотрим процесс декомпозиция 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 обусловливает 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 [3, 7].

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

Пример 11.11. 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 $У(1)$;

2.2) патентная чистота $У(2)$.

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

$$У = 0{,}74У(1) + 0{,}26У(2).$$

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. Использованы 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:

$$W = 0{,}6X + 0{,}2Y + 0{,}2Z = 0{,}6\,(0{,}44\,X(1) + 0{,}09\,X(2) + 0{,}18\,X(3) +$$
$$+ 0{,}29\,X(4)) + 0{,}2\,(0{,}74У(1) + 0{,}26У(2)) + 0{,}2\,(0{,}55Z(1) + 0{,}14Z(2) + 0{,}31Z(3)) =$$
$$= 0{,}264\,X(1) + 0{,}054X(2) + 0{,}108\,X(3) + 0{,}174X(4) +$$
$$+ 0{,}148У(1) + 0{,}052У(2) + 0{,}11Z(1) + 0{,}028Z(2) + 0{,}062Z(3).$$

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 [11], 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. [12, прил. 3]. А также на подходы и результаты теории измерений, позволяющие выбирать наиболее адекватные виды средних величин в соответствии с используемыми шкалами измерения (см. главу 3).

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 [2] 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 рассмотрения 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 11.12. 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 успешности: 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: AABCBAAAB. 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 AABCBAAAB 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.

11.3. 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 $f(x_1, x_2, ..., x_m)$ от единичных показателей (факторов) $x_1, x_2, ..., x_m$. В таких случаях для принятия решения используют некоторое граничное значение K, принимают одно решение, если

$$f(x_1, x_2, ..., x_m) < K,$$

и альтернативное, если

$$f(x_1, x_2, ..., x_m) \leq K.$$

Можно сказать, что в этом случае для принятия решения используется бинарный рейтинг вида $g(f(x_1, x_2, ..., x_m))$, где функция g принимает два значения, а именно, $g(z) = 0$ при $z < K$ и $g(z) = 1$ при $z \geq K$.

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 [12, 13]. 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.

Следует иметь в виду, что 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 публикаций (УДК), классификатор товаров на основе штрих-кодов.

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 компьютеры. 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 гг. 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 [14, 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» [14, 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 (т.е. 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.

Как уже отмечалось, для построения системы диагностических классов используют разнообразные методы кластерного анализа и группировки объектов. Наименее известен второй член триады (отсутствующий у Кендалла и Стьюарта [14]) — 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 [12, 13].

Диагностика в узком смысле слова (процедура использования классификации, т.е. 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. Как уже отмечалось, 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), т.е. 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 реальны, естественны, 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.

Как уже отмечалось, часто применяется так называемый 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, т.е. результат работы алгоритма устойчив по отношению к изменению a (в смысле общей схемы устойчивости, рассмотренной в [15]), то имеем «естественную» классификацию. В противном случае результат зависит от субъективно выбранного исследователем параметра a, т.е. задача кластер-анализа неразрешима (предполагаем, что выбор a 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 [14]. 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 [12, 13]. Известно также, что по выборкам, объем которых не превосходит 50, нельзя сделать обоснованный вывод о принадлежности к нормальному закону [16].

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 [12, 13]. 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 $f(x_1, x_2, ..., x_m)$ от единичных показателей (факторов) $x_1, x_2, ..., x_m$, 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.

11.4. Сравнение рейтингов и линейные рейтинги

Из-за своей простоты популярны линейные рейтинги:

$$f(x_1, x_2, ..., x_m) = a_1x_1 + a_2x_2 + ... + a_mx_m$$

в виде линейной функции от единичных показателей (факторов) $x_1, x_2, ..., x_m$. Коэффициенты $a_1, a_2, ..., a_m$ 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 некоторого количества переменных (показателей, факторов). Эта функция строится с помощью линейного дискриминантного анализа Фишера [25] и используется для принятия решения о финансовом положении предприятия.

Такой подход хорошо известен в эконометрике. В частности, он описан в главе 5 учебника [12]. 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, т.е. эвристические, использующие детерминированные методы анализа данных. Независимо 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»). Чуть 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 так называемого «расстояния Махаланобиса» между классами. Изложение проведем на примере разработки программного продукта для специалистов по диагностике материалов. Прообразом является диалоговая система «АРМ материаловеда», 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 их 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 κ; правильной диагностики во втором классе λ; долями классов в объединенной совокупности $\pi_i,\ i=1,2;\ \pi_1+\pi_2=1$.

При изучении качества алгоритмов классификации их сравнивают по результатам дискриминации вновь поступающей контрольной выборки. Именно по контрольной выборке определяются величины $\kappa, \lambda, \pi_1, \pi_2$. Однако иногда вместо контрольной используют обучающую выборку, т.е. 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 [17], 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 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 был разработан группы под руководством академика АН СССР И.М. Гельфанда. Применение этого алгоритма с медицинской точки зрения вполне оправдано [18].

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 так называемая «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 [27].

Пример 11.13. 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 (т.е. понятие истинной прогностической «силы» δ не используется).

Пусть алгоритм классификации применялся к совокупности, состоящей из m объектов первого класса и n объектов второго класса.

Теорема 11.1. Пусть $m, n \to \infty$. Тогда для всех x:

$$P\left\{\frac{\delta^* - \delta}{A(\kappa, \lambda)} < x\right\} \to \Phi(x),$$

где δ — истинная «прогностическая сила» алгоритма диагностики; δ^* — ее эмпирическая оценка,

$$A^2(\kappa, \lambda) = \frac{1}{4}\left\{\left[\frac{\varphi(d^*/2)}{\varphi(\Phi^{-1}(\kappa))}\right]^2 \frac{\kappa(1-\kappa)}{m} + \left[\frac{\varphi(d^*/2)}{\varphi(\Phi^{-1}(\lambda))}\right]^2 \frac{\lambda(1-\lambda)}{n}\right\};$$

здесь $\varphi(x) = \Phi'(x)$ — плотность стандартного нормального распределения вероятностей с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

С помощью теоремы 11.1 по κ и λ обычным образом определяют доверительные границы для «прогностической силы» δ.

Пример 11.14. В условиях примера 11.13 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 [19]).

При $m = n = 100$ имеем $A(0{,}90;\ 0{,}80) = 0{,}0252$. При доверительной вероятности $\gamma = 0{,}95$ имеем $u(0{,}95) = \Phi^{-1}(0{,}975) = 1{,}96$, а потому нижняя доверительная граница для прогностической силы δ есть $\delta_Н = 0{,}86 - 1{,}96$ Ч $0{,}0252 = 0{,}81$, а верхняя доверительная граница такова: $\delta_В = 0{,}86 + 1{,}96 \times 0{,}0252 = 0{,}91$. Аналогичный расчет при $m = n = 1000$ дает $\delta_Н = 0{,}845$, $\delta_В = 0{,}875$.

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 $y \le c$, 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, т.е. опишем соответствующий критерий проверки статистической гипотезы.

Пусть κ_1 — доля объектов первого класса, для которых $y \le c_1$, а κ_2 — доля объектов первого класса, для которых $c_1 < y \le c_2$. Аналогично пусть λ_2 — доля объектов второго класса, для которых $c_1 < y \le c_2$, 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:

$$d^*(c_1) = \Phi^{-1}(\kappa_1) + \Phi^{-1}(\lambda_2 + \lambda_3), \qquad d^*(c_2) = \Phi^{-1}(\kappa_1 + \kappa_2) + \Phi^{-1}(\lambda_3).$$

Теорема 11.2. Если истинные прогностические силы двух правил диагностики совпадают, т.е. $\delta(c_1) = \delta(c_2)$, то при $m \to \infty, n \to \infty$ при всех x:

$$P\left\{\frac{d^*(c_1) - d^*(c_2)}{B} < x\right\} \to \Phi(x),$$

где

$$B^2 = \frac{1}{m} T(\kappa_1; \kappa_2) + \frac{1}{n} T(\lambda_3; \lambda_2);$$

$$T(x; y) = \frac{x(1-x)}{\varphi^2(\Phi^{-1}(x))} + \frac{(x+y)(1-x-y)}{\varphi^2(\Phi^{-1}(x+y))} - \frac{2x(1-x-y)}{\varphi(\Phi^{-1}(x))\varphi(\Phi^{-1}(x+y))}.$$

Из теоремы 11.2 вытекает метод проверки рассматриваемой гипотезы: при выполнении неравенства:

$$\left|\frac{d^*(c_1) - d^*(c_2)}{B}\right| \le \Phi^{-1}(1 - \frac{\alpha}{2})$$

она принимается на уровне значимости, асимптотически равном α, в противном случае — отвергается.

Пример 11.15. Пусть данные примеров 11.13 и 11.14 соответствуют порогу c_1. Пусть порогу c_2 соответствуют $\kappa' = 0{,}95$ и $\lambda' = 0{,}70$. 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

$$\frac{0{,}05^2}{\frac{2{,}22}{m} + \frac{0{,}89}{n}} \le 1{,}96^2,$$

т.е. когда

$$\frac{2{,}22}{m} + \frac{0{,}89}{n} \ge 0{,}00065.$$

Так, гипотеза принимается при $m = n = 1\ 000$ и отвергается при $m = n = 5\ 000$.

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, т.е. оценки непосредственно рейтинга:

$$Y = f(x_1, x_2, ..., x_m) = a_1x_1 + a_2x_2 + ... + a_mx_m.$$

Предположим сначала, что рейтинговые оценки высококвалифицированных экспертов являются числовыми. Тогда в качестве данных, исходных для статистического анализа, имеем выборку $(Y_i; x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{mi})$, $i = 1, 2, ..., n$, 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 [12, 13]).

Нет необходимости обязательно 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 [20]. Математический аппарат необходим иной, не тот, что в ранее рассмотренном случае глобальных числовых оценок высококвалифицированных экспертов.

В настоящее время теория рейтингов продолжает бурно развиваться [28, 29]. Так, проблемам обоснованного выбора коэффициентов важности посвящены работы В.В. Подиновского [21, 22, 30]. Сравнительный анализ пяти традиционных и четырех относительно новых методов нахождения коэффициентов важности бинарных (т.е. принимающих два значения) факторов осуществлен И.Ф. Шахновым [23]. При этом исходной информацией служат экспертные оценки, имеющие качественный характер.

Очевидна связь теории рейтингов с современной весьма математизированной теорией полезности [26], поскольку рейтинговая оценка — частный случай функций полезности, используемой для упорядочения объектов экспертизы.

Контрольные вопросы и задачи

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 табл. 11.7 приведены попарные расстояния между десятью социально-психологическими признаками способных к математике школьников [24]. Примените к этим данным алгоритмы ближнего соседа, средней связи и дальнего соседа. Для каждого из трех алгоритмов выделите наиболее устойчивые разбиения на кластеры.

Таблица 11.7

**Попарные расстояния
между социально-психологическими признаками**

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**9**	**10**
2	1028	–	–	–	–	–	–	–	–
3	1028	608	–	–	–	–	–	–	–
4	1050	688	610	–	–	–	–	–	–
5	1012	686	636	634	–	–	–	–	–
6	1006	566	538	616	562	–	–	–	–
7	1012	1026	748	692	774	732	–	–	–
8	960	1088	1144	1122	1120	1130	1110	–	–
9	1026	878	874	830	836	802	904	1040	–
10	990	744	674	744	718	580	814	1090	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?

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. 11.4 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.

Литература

1. *Шмален, Г.* Основы и проблемы экономики предприятия / Г. Шмален. — Москва : Финансы и статистика, 1996. — 512 с.

2. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

3. *Хан, Д.* Планирование и контроль: концепция контроллинга / Д. Хан ; под редакцией А.А. Турчака. — Москва : Финансы и статистика, 1997. — 800 с.

4. *Маниловский, Р.Г.* Бизнес-план / Р.Г. Маниловский. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 160 с.

5. Деловое планирование: Методы. Организация. Современная практика. — Москва : Финансы и статистика, 1997. — 368 с.

6. *Литвак, Б.Г.* Разработка управленческого решения : учебник / Б.Г. Литвак. — 2-е изд. — Москва : Дело, 2001. — 392 с.

7. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примак, С.Г. Фалько. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

8. Менеджмент / под редакцией Ж.В. Прокофьевой. — Москва : Знание, 2000. — 288 с.

9. *Науман, Э.* Принять решение — но как? / перевод с немецкого М.С. Каценбогена. — Москва : Мир, 1987. — 198 с.

10. *Литвак, Б.Г.* Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. — Москва : Патент, 1996. — 271 с.

11. *Орлов, А.И.* Экспертные оценки / А.И. Орлов // Заводская лаборатория.— 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54–60.

12. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

13. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

14. *Кендалл, М.Дж.* Многомерный статистический анализ и временные ряды / М.Дж. Кендалл, А. Стьюарт. — Москва : Наука, 1976. — 736 с.

15. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

16. *Селезнев, В.Д.* Исследование свойств критериев согласия функции распределения данных с гауссовой методом Монте-Карло для малых выборок / В.Д. Селезнев, К.С. Денисов // Заводская лаборатория. — 2005. — Т. 71. — № 1. — С. 68–73.

17. *Орлов, А.И.* Некоторые вероятностные вопросы теории классификации / А.И. Орлов // Прикладная статистика. Т. 45. — Москва : Наука, 1983. — С. 166–179. — (Ученые записки по статистике).

18. Прогнозирование исхода инфаркта миокарда с помощью программы «Кора-3» / И.М. Гельфанд, М.А. Алексеевская, Ш.А. Губерман [и др.] // Кардиология. — 1977. — Т. 17. — № 6. — С. 19–23.

19. *Большев, Л.Н.* Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. — Москва : Наука, 1983. — 416 с.

20. *Киселев, Н.И.* Экспертно-статистический метод определения функции предпочтения по результатам парных сравнений объектов / Н.И. Киселев // Алгоритмическое и программное обеспечение прикладного статистического анализа. — Москва : Наука, 1980. — С. 111–123.

21. *Подиновский, В.В.* Анализ решений при множественных оценках коэффициентов важности критериев и вероятностей значений неопределенных факторов в целевой функции / В.В. Подиновский // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 11. — С. 141–159.

22. *Подиновский, В.В.* Количественная важность критериев с непрерывной шкалой первой порядковой метрики / В.В. Подиновский // Автоматика и телемеханика. — 2005. — № 9. — С. 129–137.

23. *Шахнов, И.Ф.* Некоторые модели квалиметрического анализа многофакторных объектов с бинарными факторами / И.Ф. Шахнов // Заводская лаборатория. — 2005. — Т. 71. — № 5. — С. 59–65.

24. *Орлов, А.И.* Математические методы в изучении способных к математике школьников / А.И. Орлов, Г.А. Гусейнов // Исследования по вероятностно-статистическому моделированию реальных систем. — Москва : ЦЭМИ АН СССР, 1977. — С. 80–93.

25. *Fisher, R.A.* The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems / R.A. Fisher // Ann. Eugenics. — 1936. — September. — Vol. 7. — P. 179–188. (Перевод: *Фишер, Р.Э.* Использование множественных измерений в задачах таксономии / Р.Э. Фишер // Современные проблемы кибернетики. — Москва : Знание, 1979. — С. 6–20.)

26. *Фишберн, П.* Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. — Москва : Наука, 1978. — 352 с.

27 *Орлов, А.И.* Прогностическая сила – наилучший показатель качества алгоритма диагностики / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 99. — С. 33–49.

28. *Лындина, М.И.* Математическая теория рейтингов / М.И. Лындина, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 114. — С. 1–26.

29. *Орлов, А.И.* Определение приоритетности реализации НИОКР на предприятиях ракетно-космической отрасли / А.И. Орлов, А.Д. Цисарский // Контроллинг. — 2020. — № 2 (76). — С. 58–65.

30. *Подиновский, В.В.* Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский. — Москва : Наука, 2019. — 103 с.

ГЛАВА 12. ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ — ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим ряд применений экспертных оценок в менеджменте и экономике при проведении конкретных исследований.

12.1. Экспертные оценки в маркетинговом исследовании

Рассмотрим конкретное маркетинговое исследование в процессе разработки проекта развития инновационных технологий космического приборостроения на примере системы ГЛОНАСС, проведенное Институтом высоких статистических технологий и эконометрики МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Цель исследования: выявление направлений развития навигационных приборов в области автомобильного транспорта с целью улучшения технических характеристик (изменения характеристик прибора).

Объект исследования: прогнозирование предпочтений потребителей в области технико-функциональных характеристик навигационного прибора.

В предложенной экспертам анкете были представлены 15 важнейших факторов, определяющих технико-функциональные характеристики навигационного прибора:

1. Точность определения навигационных параметров (координат, времени, скорости).

2. Сохранение точностных характеристик при: механическом ударе, движении 180 км/ч, воздействии тумана, динамической пыли и пр.

3. Габариты прибора.

4. Вес прибора.

5. Наличие жидкокристаллического цветового экрана.

6. Наличие картографической базы данных.

7. Объем памяти (количество сохраняемых маршрутов).

8. Наличие системы мониторинга о пробках на дорогах (выбор оптимальных путей объезда).

9. Помехозащищенность (влияние прибора на работу других приборов автомобиля).

10. Надежность и прочность в эксплуатации.

11. Потребление энергии.

12. Время непрерывной работы от аккумуляторной батареи.

13. Соотношение цены и качества.

14. Современный дизайн.

15. Простота в обращении (быстрый доступ к функциям прибора).

Эксперты оценивали перечисленные характеристики по пятибалльной системе:

5 — «абсолютно необходимо»;

4 — «очень важно»;

3 — «может быть важно»;

2 — «не очень важно»;

1 — «абсолютно не важно».

Обработка результатов опроса экспертов. На основе полученных результатов (см. табл. 12.1) осуществлена статистическая обработка данных.

В опросе приняло участие 12 экспертов, информация была собрана путем самостоятельного заполнения анкет.

Поскольку ответы экспертов измерены в порядковой шкале (используется балльная система), согласно теории измерений (см. главу 3 настоящего учебника) обоснованным является использование медиан в качестве средних баллов и рассмотрение их в качестве интегральных оценок (рейтингов). Полученные результаты можно обработать также путем вычисления средних арифметических из-за их привычности и распространенности, но следует учесть, что данная рекомендация противоречит теории измерений. Однако в согласии с концепцией устойчивости, согласно которой следует использовать различные методы для обработки одних и тех же данных с целью выделить выводы, получаемые одновременно при всех методах, целесообразно рассмотреть одновременно оба метода — и метод средних арифметических баллов, и методов медианных баллов (ср. главу 4 выше).

Метод средних арифметических баллов предполагает подсчет суммы баллов, присвоенных каждой из технико-функциональных характеристик навигационного прибора. Затем эта сумма должна быть разделена на число экспертов (12), в результате рассчитан средний арифметический балл (именно эта операция дала название методу). По средним арифметическим баллов строится итоговая ранжировка (в другой терминологии — упорядочение), исходя из принципа — чем больше средний ранг, тем важнее характеристика.

Таблица 12.1

Сводная таблица результатов маркетингового исследования.
Баллы 15 характеристик навигационного прибора по степени важности

Характеристика прибора (№ характе-ристики) / № экспертов	Точность определения навига-ционных параметров	Сохранение точности характеристик в различных условиях	Габариты прибора	Вес прибора	Наличие ЖК цветового экрана	Наличие картографической базы данных	Объем памяти	Наличие системы мониторинга	Помехозащи-щенность	Надежность	Потребление энергии	Время работы батарей	Соотношение цены и качества	Дизайн	Простота в обращении
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
1	5	5	3	3	1	2	5	3	1	5	4	5	2	2	5
2	5	2	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	4	2	5
3	5	4	3	3	3	4	3	3	5	5	3	4	3	3	4
4	5	5	4	2	4	3	5	3	2	5	3	4	3	2	5
5	5	5	3	3	4	2	4	3	4	5	4	4	5	2	5
6	5	4	3	3	3	3	3	2	3	5	4	4	2	2	4
7	5	4	3	2	4	3	4	3	2	5	2	3	4	3	5
8	5	4	2	3	1	3	4	3	2	5	3	4	4	3	5
9	5	5	3	3	1	4	5	2	2	5	4	4	3	2	5
10	4	3	3	3	2	3	4	2	1	5	4	5	4	2	4
11	5	4	4	3	2	2	5	3	1	5	3	4	4	3	4
12	5	4	2	2	2	2	3	3	2	5	4	4	4	2	5

Наибольший средний ранг, равный 4,92, соответствует двум характеристикам прибора — «точность определения навигационных параметров» (№ 1) и «надежность и прочность в эксплуатации» (№ 10), следовательно, в итоговой ранжировке они должны стоять на 1 и 2 местах. Этим характеристикам присваивается средний ранг (1 + 2)/2 = 1,5. Следующая по величине сумма, равная 4,67, соответствует эргономической характеристике — «простота в обращении» (№ 15), присваивается ранг 3. Характеристике № 2 — «сохранение точностных характеристик в различных условиях» — в итоговой ранжировке присвоен ранг 4. Дальнейшие результаты приведены в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Результаты расчетов по методу средних арифметических и методу медиан для данных, приведенных в таблице 12.1

Характеристики	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Сумма баллов	59	49	36	33	31	35	48	33	29	59	42	48	42	28	56
Среднее арифметическое баллов	4,92	4,08	3,0	2,75	2,58	2,92	4,0	2,75	2,42	4,92	3,5	4,0	3,5	2,33	4,67
Итоговый ранг по среднему арифметическому баллов	1,5	4	9	11,5	13	10	5,5	11,5	14	1,5	7,5	5,5	7,5	15	3
Медианы баллов	5	4	3	3	2,5	3	4	3	2	5	4	4	4	2	5
Итоговый ранг по медианам	2	5	10,5	10,5	13	10,5	5	10,5	14,5	2	5	5	5	14,5	2

Итак, ранжировка по суммам баллов (по средним арифметическим баллов) имеет вид:

$$\{1, 10\} < 15 < 2 < \{7, 12\} < \{11, 13\} < 3 < 6 < \{4, 8\} < 5 < 9 < 14 \qquad (12.1)$$

(движение слева направо соответствует уменьшению среднего арифметического баллов). Поскольку характеристики № 1 и 10, а также № 7 и 12, № 11 и 13, № 4 и 8 получили одинаковую сумму баллов, то по рассматриваемому методу они эквивалентны, а потому объединены в группы — классы эквивалентности (выделены фигурными скобками, как и в главе 4).

Метод медиан баллов. Поскольку ответы экспертов измерены в порядковой шкале, для них согласно теории измерений (глава 3) неправомерно проводить усреднение методом средних арифметических баллов. Надо использовать метод медиан баллов.

Необходимо взять ответы экспертов, соответствующие одной из технико-функциональных характеристик, например, характеристике № 11 (потребление энергии). Это баллы. Располагаем их в порядке неубывания (проще было бы сказать — «в порядке возрастания», но поскольку некоторые ответы совпадают, то приходится использовать термин «неубывание»). Получим последовательность: 2, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4. На центральных местах — шестом и седьмом — стоят 4 и 4, следовательно, медиана равна (4 + 4)/2 = 4. Медианы совокупностей 12 баллов, соответствующих определенным технико-функциональным характеристикам прибора, приведены в табл. 12.1. Итоговое упорядочение по методу медиан приведено в последней строке табл. 12.2 и имеет следующий вид:

$$\{1, 10, 15\} < \{2, 7, 11, 12, 13\} < \{3, 4, 6, 8\} < 5 < \{9, 14\}. \qquad (12.2)$$

Выделено пять групп характеристик (кластеров), соответственно значениям медианы баллов 5, 4, 3, 2, 5, 2.

Сравнение ранжировок по методу средних арифметических и методу медиан баллов. Нет ни одной противоречивой пары характеристик (в смысле определения противоречивости, данного в разделе 4.3). Сравнение ранжировок (12.1) и (12.2) показывает, что каждый кластер во второй из них представляет собой объединение нескольких кластеров из первой ранжировки. Формальное применение процедуры согласования ранжировок (раздел 4.3) дает в качестве итоговой ранжировку (12.1). Отметим, что более крупные кластеры ранжировки (12.2) легче поддаются интерпретации.

По итоговой ранжировке можно сделать, в частности, следующие ***выводы***:

1) к наиболее важным характеристикам навигационного прибора следует отнести такие характеристики, как «точность определения навигационных параметров», «надежность и прочность в эксплуатации», «простота в обращении», а также «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 па-

мяти, обеспечения работы аккумуляторной батареи целесообразно использовать покупные комплектующие изделия, исходя из целевого использования прибора, решаемых с его помощью задач;

2) такие характеристики, как габариты, вес, современный дизайн были отнесены экспертами к менее значимым, 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.

12.2. Экспертные технологии в системе «Шесть сигм»

Как улучшить организацию производства? Как повысить эффективность управления? Волна за волной накатывают на руководителей и специалистов все новые сочетания слов и стоящие за ними концепции. И в каждой волне есть что-то новое и что-то давно известное. Основное — новый угол взгляда на старые проблемы и методы.

И вот появилось новое модное поветрие — «Шесть сигм». Что стоит за этими словами, наводящими на мысли о статистических методах (греческой буквой «сигма» традиционно обозначают показатель разброса статистических данных)? Как сказано в [6], «Шесть сигм» — это более разумный способ управлять всей компанией или отдельным подразделением. Фактически речь идет о развитии системы контроллинга на предприятии, в организации, фирме, компании [7]. Концепция «Шесть сигм» ставит на первое место потребителя и помогает находить самые лучшие решения, опираясь на факты и данные. Она нацелена на три основные задачи:

- повысить удовлетворенность клиентов;
- сократить время цикла (производственного, операционного);
- уменьшить число дефектов.

Внедрение «Шести сигм» дает значительный экономический эффект. Исполнительный директор *General Electric* Джек Уэлч писал в ежегодном докладе, что всего за три года «Шесть сигм» сэкономили компании более 2 миллиардов долларов [6].

Совершенно справедливо «Шесть сигм» рассматривают как «революционный метод управления качеством». Согласно «Шести сигмам» следует стремиться к достижению самого малого разброса контролируемого параметра по сравнению с полем допуска. Желательно добиться, чтобы ширина поля допуска была в 6 раз больше типового разброса, традиционно описываемого как «плюс-минус сигма». Отсюда и название концепции — «Шесть сигм». Соотношение поля допуска с полем разброса (в «сигмах») связывают с числом дефектов (на миллион возможностей) и с выходом годной продукции (в %). Так, 6 «сигма» соответствуют 3,4 дефектов на 1 000 000 возможностей, или выходу годной продукции 99,99966%. А пока такой высокий уровень не достигнут, можно оценивать ситуацию в «сигма». И промежуточная задача может формулироваться так: с уровня 2,5 «сигма» подняться до уровня 4 «сигма».

Интеллектуальные инструменты. С помощью каких инструментов достигается успех в системе «Шести сигм»? Это инструменты генерации идей и структурирования информации — экспертные оценки (голосования, мозговой штурм), диаграммы (сродства, древовидные, «рыбий скелет» — схема Исикава), блок-схемы. Это инструменты сбора данных — выборочный метод, методики измерений, методы определения «голоса потребителя», контрольные листки и электронные таблицы. Третья группа — инструменты анализа процесса и данных — анализ течения процесса, добавленной ценности, различные графики и диаграммы. В том числе диаграмма Парето, график временного ряда (тренда), диаграмма разброса (поле корреляции). Затем — инструменты статистического анализа (проверка статистических гипотез, методы корреляции и регрессии, планирования экспериментов и др.). Наконец, четвертая группа инструменты реализации решений и управления процессом. Среди них — методы управления проектами (планирование, бюджетирование, составление графиков, коммуникации, управление коллективом, диаграммы Ганта и др.), анализ потенциальных проблем и анализ видов и последствий отказов, анализ заинтересованных сторон, диаграмма поля сил, документирование процесса, сбалансированная система показателей и «приборная» панель процесса. Обратите внимание, что реализация практически всех этих методов осуществляется с активным использованием тех или иных экспертных технологий в сочетании с методами анализа объективных данных.

Инструментарий системы «Шести сигм» весьма широк. Эти инструменты помогают принимать правильные решения, решать проблемы и управлять переменами. Среди них, как следует из проведенного выше перечисления, основное место занимают различные экспертные и статистические инструменты. Однако нельзя считать, что система «Шести сигм» и инструменты «Шести сигм» — это одно и то же.

Как справедливо подчеркнуто в цитированной книге о системе «Шести сигм», возможно, вы говорите себе: «Мы уже делаем кое-что из этого». И уж, безусловно, читали почти обо всем из названных выше инструментов, в том числе на страницах настоящего учебника. Совершенно бесспорно, что многое в концепции «Шести сигм» не ново. Что действительно ново — так это *соединение всех этих элементов системы и ее инструментов в согласованный процесс управления.*

Действительно, различные виды инструментов повышения эффективности управления известны давно. Чтобы их успешно использовать, ***нужна система внедрения.*** Нужна тщательно разработанная методика создания и функционирования творческих коллективов, занимающихся анализом ситуации, подбором и внедрением современных инструментов управления. Все это создано в системе «Шести сигм». В этом и состоит суть нового шага в науке и практике управления предприятием. И этот новый шаг реализуется с помощью интенсивного использования процедур экспертного оценивания.

Выделяют шесть элементов, составляющих квинтэссенцию системы «Шесть сигм». Это:

- ориентация на потребителя;
- управление на основе данных и фактов;
- процессный подход (где действия, там и процессы);
- проактивный менеджмент (т.е. основанный на прогнозировании);
- безграничное сотрудничество;
- стремиться к совершенству, но не бояться поражений.

Конечно, каждый из этих элементов сам по себе хорошо известен. Дело в системе «Шести сигм», в которую они объединены. В этой системе подробно расписаны роли различных участников команды — «черные пояса», «зеленые пояса», «мастера черных поясов», «чемпионы». Подчеркивается основополагающая роль членов руководства компании («спонсоров»), лично занимающихся развитием системы «Шесть сигм».

Анализ системы «Шесть сигм» показывает, что, несмотря не некоторое различие терминов, связанное с корнями этой системы (лежащими в проблемах управления качеством), фактически «Шесть сигм» — это глубоко проработанная система внедрения современного контроллинга. Отметим большое место, которое занимают экспертные и статистические методы среди ее инструментов. Система «Шесть сигм» трудоемка, на внедрение нужны годы. Но и эффект велик [7].

Отметим, что «Шесть сигм» можно рассматривать и как новую систему внедрения математических методов исследования [8].

Проблемы внедрения математических методов исследования. Полезно проанализировать изменение представлений о проблемах внедрения современных научных достижений в отечественную практику. В качестве примера для обсуждения рассмотрим теорию и методы планирования эксперимента, об истории которых в нашей стране рассказано в [9]. Как известно, локомотивом работ по планированию эксперимента в нашей стране являлся «незримый коллектив» под руководством В.В. Налимова, основные научные идеи и результаты их практического внедрения рассматривались на страницах журнала «Заводская лаборатория».

Очевидно, совершенно необходимый первый этап — разработка самой научной теории до той стадии, когда предлагаемые рекомендации уже можно использовать на практике. Основной результат этого этапа — методические разработки и образцы внедрения. Для планирования эксперимента первый этап в основном завершился к началу 1970-х гг.

Термин «завершился» требует уточнения. Научные исследования, разумеется, продолжались после 1970 г. Они продолжаются сейчас, и будут продолжаться в дальнейшем, поскольку любая научная область может — при наличии энтузиастов — развиваться до бесконечности. Речь о другом — к началу 1970-х гг. была создана методическая база для массового внедрения.

Следующий этап — пропаганда возможностей методов планирования эксперимента, преподавание и подготовка кадров. В статье [9] рассказано о многочисленных акциях 1960–1970-х гг. в этом направлении. Казалось, что дальше всё пойдет самотеком. Но не получилось. Широкого потока внедренческих работ не последовало. Блестящие работы не стали образцами для подражания.

И не только для планирования эксперимента. Примерно так же развивалась ситуация с внедрением экономико-математических методов. Хотя были и некоторые незначительные отличия. Удалось организовать Центральный экономико-математический институт РАН, а вот академического института по планированию эксперимента нет до сих пор. И межфакультетская лаборатория статистических методов МГУ им. М.В. Ломоносова, которая занималась развитием теории и внедрением методов планирования эксперимента, расформирована в середине 1970-х гг. Были и другие примеры того, что организационные успехи по тем или иным причинам не удавалось закрепить [9].

Стало ясно, что создания методов и их пропаганды недостаточно. Внедрение новшеств должно опираться на развитую структуру (систему) высококвалифицированных экспертов. Выявилась необходимость перехода к третьему этапу — этапу разработки организационных форм, обеспечивающих широкое внедрение. Наиболее ярким проявлением этого этапа было учреждение в 1990 г.

Всесоюзной статистической ассоциации (ВСА), объединяющей — прежде всего в секции статистических методов — специалистов по математическим методам исследования [10]. В статье [11] тех лет, посвященной проблемам внедрения прикладной статистики и других статистических методов, была развернута программа создания сети научно-исследовательских и внедренческих институтов по этой тематике, аналогичной сети метрологических организаций. К сожалению, все эти глобальные планы организации внедрения рассматриваемых методов в государственном масштабе остались нереализованными из-за развала СССР и развертывания экономических «реформ» 1990-х гг., приведших к сокращению (в разы!) объемов научных исследований и численности работников в сфере науки и научного обслуживания.

Сейчас мы находимся на четвертом этапе. Надо разрабатывать и широко использовать новые организационные формы внедрения математических методов исследования на отдельных предприятиях. С похожими проблемами сталкиваются разработчики крупных информационных систем управления предприятиями (типа *SAP S/4HANA*, *Oracle*, *JD Edwards EnterpriseOne*), занимающиеся их внедрением в конкретных организациях [12]. В частности, необходимо создание соответствующей службы под непосредственным началом одного из высших руководителей организации. Недаром внедрение контроллинга — современных методов управления предприятиями — обычно начинается именно с создания службы контроллинга и прорабатывания ее взаимодействия со всеми остальными структурами предприятия [13, 47, 48].

Система «Шесть сигм» ценна, прежде всего, своей организационной составляющей. Той, которой не уделяли внимания на ранних этапах истории внедрения современных математических методов исследования. Система «Шесть сигм», опирающаяся на постоянное и интенсивное использование знаний и интуиции высококвалифицированных экспертов, дает алгоритмы практической деятельности по организации внедрения. Чем она и интересна для отечественных специалистов.

Итоги. Подведем итоги настоящей главы. В России активно разрабатываются теоретические, программные и практические вопросы статистических методов сертификации и управления качеством продукции. Некоторые из них кратко рассмотрены выше. Ранее разработанные нормативно-техническая и методическая документация, диалоговые компьютерные системы по статистическим методам продолжают использоваться, несмотря на социально-политические преобразования 1990-х гг. В частности, стандарты СССР и СЭВ продолжают оставаться широко известными методическими документами, хотя СССР и СЭВ уже нет. Большое значение имеет работа по устранению ошибок в нормативно-технических и инструктивно-методических документах с целью уменьшения числа ошибок в практической работе. Важно создать такую систему управления в научно-технической сфере, чтобы никто не мог навязать стране свои ошибки в качестве стандартов, проигнорировав протесты ведущих специалистов. При этом условии внедрение современных статистических методов сертификации и управления качеством продукции могут дать нашей стране экономический эффект, измеряемый миллиардами долларов США в год.

12.3. Иерархическая система показателей технического уровня и качества продукции

Среди иерархических систем показателей одной из наиболее практически важных является система показателей качества продукции. Рассмотрим ее подробнее.

Под качеством продукции обычно понимают совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Для организации контроля качества, изучения динамики качества продукции, выпускаемой различными производителями, планирования производства, управления инвестициями и инновациями и решения других управленческих задач недостаточно словесного определения понятия качества, необходимо выразить уровень качества в числовой форме. Другими словами, необходимо использовать обобщенные показатели качества, ориентированные на решаемую управленческую задачу и описывающие качество числом. Как их сконструировать?

Выделяют ***группы показателей*** качества:

1) показатели назначения;
2) показатели надежности и долговечности;
3) показатели технологичности;
4) показатели стандартизации и унификации;
5) эргономические показатели;
6) эстетические показатели;
7) патентно-правовые показатели;
8) экономические показатели;
9) экологические показатели;
10) показатели безопасности и т.п. (например, показатели транспортабельности [14, с. 217]).

Ясно, что набор используемых групп зависит от решаемой задачи. Потребителя не интересуют показатели технологичности, стандартизации и унификации, государственные органы сейчас контролируют экологические показатели, безопасность и соблюдение прав на интеллектуальную собственность и т.д. Часто обсуждают соотношение «цена — качество», ясно, что при этом группу экономических показателей не включают в понятие «качество».

Под ***техническим уровнем*** понимают меру использования достижений технического прогресса для удовлетворения конкретных потребностей, степень технического совершенства продукции, новизны и прогрессивности конструкторско-технологических решений. Технический уровень продукции — относительный показатель — определяется на основе сравнения параметров и характеристик предлагаемого в проекте продукта с показателями базового образца соответствующего уровня, имеющегося в стране и за рубежом. При этом используют как групповые, так и единичные показатели. Как следует из сказанного, при определении технического уровня экономические показатели не учитываются. Конкретные правила расчета технического уровня зафиксированы в соответствующих нормативных документах.

Для практических расчетов каждая группа показателей подробно раскрывается. Например, надежность изделия — сложное свойство, состоящее из трех частных свойств — безотказности, ремонтопригодности, сохраняемости [16]. Эти три свойства стоят на третьем уровне иерархии показателей качества (на первом — верхнем — обобщенный показатель, на втором — перечисленные выше групповые показатели, в том числе групповой показатель надежности).

Безотказность — свойство технического изделия сохранять работоспособность в течение некоторого времени эксплуатации без вынужденных перерывов. Показателями безотказности являются: вероятность безотказной работы, средняя наработка до первого отказа, наработка на отказ, интенсивность отказов, параметр потока отказов, гарантийная наработка. Все эти показатели стоят на четвертом уровне иерархической системы показателей.

Они могут быть раскрыты с помощью показателей пятого уровня иерархии. Так, вероятность безотказность работы является функцией (в математическом смысле) времени наблюдения. Функцию с достаточной степенью точности можно задать с помощью ее значений в конечном числе точек. Часто с помощью экспертов выбирают «естественные» единицы измерения — час, сутки, год. Средняя наработка до первого отказа — это математическое ожидание, или медиана, или иное теоретическое среднее. А реально все эти средние оцениваются по результатам предварительных испытаний, следовательно, характеристики имеют вид доверительных интервалов и т.д.

Казалось бы, показатели надежности должны оцениваться по результатам объективных измерений. Реально же велика роль экспертов. Именно они задают конкретные процедуры оценивания, выбирая вид характеристик нижнего уровня иерархии, модели и вытекающие из них алгоритмы нахождения числовых значений характеристик. Отметим, что эксперты могут и непосредственно оценивать надежность в качественных терминах, например, как высокую, среднюю или низкую.

Заметно больше роль экспертов для других групп показателей. Так, ***эстетические показатели*** характеризуют такие свойства продукции, как выразительность, гармоничность, целостность, соответствие среде и стилю, колористическое (цветовое) оформление и др. [17]. В работе В.В. Солодова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) указано, что эстетические показатели определяют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, совершенство исполнения продукции, а также стабильность товарного вида. Он строит двухуровневую систему эстетических показателей:

1. Показатели красоты формы (информационной выразительности).

1.1. Показатель значимости формы — на сколько социально значима форма изделия.

1.2. Показатель соответствия моде формы изделия.

1.3. Показатель стилевого соответствия, т.е. на сколько форма изделия соответствует стилю.

1.4. Оригинальность формы изделия.

2. Показатели рациональности формы — насколько форма соответствует функциям изделия, конструкции, процессу, в котором участвует изделие.

2.1. Показатель функционально-конструктивной обусловленности — насколько форма изделия соответствует конструкции, функциям (показатель технологичности).

2.2. Показатель эргономической обусловленности (эргономический показатель) — насколько форма изделия приспособлена к человеку, насколько она удобна.

3. Показатели целостности и гармоничности формы характеризуют гармоничность и единство элементов изделия.

3.1. Показатель целостности объемно-пространственной структуры — на сколько гармонично выглядит изделие.

3.2. Показатель тектоничности — на сколько в изделии имеет место единство материала и его формы.

3.3. Показатель пластичности — на сколько красивы переходы между поверхностями, составляющими формы изделия.

3.4. Показатель упорядоченности, гармоничности знаков, табличек, эмблем, гармоничности изображений элементов.

3.5. Показатель колорита и декоративности (отражает взаимосвязанность цветовых сочетаний и декоративных свойств материалов изделия).

Перечисленные показатели используются при технико-экономическом анализе при маркетинге — на первом этапе жизненного цикла продукции — и учитываются на следующих этапах.

Важны еще две группы показателей, которые определяются технологией производства изделия:

4. Показатели совершенства изготовления элементов формы и поверхностей (показатель четкости исполнения знаков, графических элементов, чистоты поверхностей, тщательности покрытия, напылений).

5. Показатели стабильности товарного вида.

Рассмотренные показатели оцениваются экспертным путем в баллах, как дифференциальные эстетические показатели, и при анализе используется интегральный эстетический показатель, который определяется сравнением выбранных эстетических показателей нового изделия по отношению к образцовому (со своими весовыми коэффициентами).

Отметим, что среди чисто эстетических показателей оказался один эргономический (показатель 2.2). Он необходим для целостной оценки эстетической составляющей качества, формально говоря, для построения группового показателя качества. Вместе с тем, как уже отмечалось, ***эргономические показатели*** качества составляют самостоятельную группу показателей. Обычно выделяют четыре подгруппы — гигиенические, антропометрические, физиологические и психофизиологические, психологические показатели.

Гигиенические показатели оценивают соответствие изделия санитарно-гигиеническим нормам и рекомендациям. Речь идет об уровнях шума, температуры, давления, запыленности, освещенности и т.д.

Антропометрические показатели оценивают соответствие изделия размерам и форме человеческого тела в целом и его отдельных частей.

Физиологические и психофизиологические показатели характеризуют соответствие конструкции изделия и его элементов физиологическим свойствам человека, прежде всего особенностям и возможностям его органов чувств.

Психологические показатели оценивают соответствие изделия психологическим возможностям и особенностям человека, совершенство обеспечения информационного обмена в системе «человек — изделие — среда», влияющего на легкость и быстроту формирования рабочих навыков человека при использовании изделия, на объем, полноту и скорость восприятия информации, поступающей от изделия [17].

Таким образом, группы эстетических и эргономических показателей имеют многоуровневую иерархическую структуру (не менее 3–4 уровней).

Методы агрегирования показателей качества. После оценивания единичных показателей качества вычисляют значения групповых показателей, а затем — обобщенного показателя, дающего итоговую единую оценку объекту оценки (изделию). При этом двигаются снизу вверх, от нижнего уровня иерархии показателей к верхним. Сначала единичные показатели нижнего уровня обобщают в групповые предпоследнего уровня. Затем на каждом шаге по групповым оценкам определенного уровня получают групповые оценки более высокого уровня. Заканчивается процесс расчетом обобщенного показателя. Примеры были приведены в главе 11.

На каждом шаге рассчитывают взвешенные агрегированные показатели. Опишем эту процедуру.

Пусть $X_1, X_2, ..., X_К$ — частные (единичные или групповые) числовые показатели. Пусть каждому из них приписан вес — $A_1, A_2, ..., A_К$ соответственно, отражающий их относительную важность (оцененную экспертами или иным способом). Весовые коэффициенты неотрицательны и в сумме составляют 1.

Взвешенные агрегированные показатели можно определить следующим единообразным способом.

Введем (чисто формально) распределение вероятностей, приписывающее каждому значению $X_М$, $M = 1, 2, ..., K$, вероятность $A_М$. Для этого распределения обычным образом определим такие характеристики, как математическое ожидание, медиана, начальные моменты, мода и т.д., которые и будем использовать в качестве взвешенных агрегированных показателей или при их расчете.

При этом математическое ожидание дает взвешенное среднее арифметическое, медиана — взвешенную медиану (в частном случае, когда одна из ступенек функции распределения приходится на высоту 0,5, целесообразно ввести понятия левой и правой медиан — т.е. левого и правого концов указанной ступеньки соответственно).

Начальный момент p-го порядка после извлечения корня p-й степени дает взвешенное степенное. Аналогичным образом получаем обобщенное среднее по Колмогорову общего вида.

Мода указывает на значение наиболее важного показателя.

В соответствии с методологией устойчивости (см. [18] и главу 4 выше) при анализе конкретной ситуации целесообразно одновременно использовать несколько обобщенных показателей, например, взвешенную медиану и взвешенное среднее арифметическое. Такая процедура предусмотрена в методике [19, прил. 3]. Хотя согласно теории измерений (см. главу 3 выше) использование среднего взвешенного арифметического некорректно, но приходится учитывать традиции (проблема учета традиций подробно обсуждалась в главе 4).

Наиболее часто используют среднее взвешенное арифметическое:

$$\overline{X} = \sum_{M=1}^{K} a_M X_M$$

и среднее взвешенное геометрическое:

$$X_{geo} = \prod_{M=1}^{K} X_M^{a_M} = \exp\left\{\sum_{M=1}^{K} a_M \ln X_M\right\}.$$

Одним из широко обсуждаемых в литературе преимуществ среднего взвешенного геометрического является то, что оно равно 0, когда хотя бы одно из усредняемых значений равно 0, в то время как при использовании среднего взвешенного арифметического недопустимо низкое значение одних показателей может быть компенсировано высокими значениями других показателей.

Однако согласно теории измерений и среднее взвешенное арифметическое, и среднее взвешенное геометрическое нельзя использовать для усреднения показателей, измеренных в порядковой шкале. Именно с обсуждения методов агрегирования показателей качества началась разработка проблем поиска и изучения инвариантных алгоритмов в нашей стране [20]. В частности, для усреднения показателей, измеренных в порядковой шкале, рекомендуем использовать медиану или взвешенную медиану.

Иногда используют и иные виды средних, например, среднее взвешенное гармоническое, как в [14, с. 235].

«Сводный показатель уровня конкурентности производства продукции предприятия может быть представлен индексом ее качества:

$$Y_0 = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i}{Y_i} \right)^{-1},$$

где n — число видов продуктов, производственных процессов или услуг; α_i — доля затрат на i-й продукт в общей сумме затрат на производство n видов продукции; Y_i — уровень качества i-го продукта (услуги) или эффективности i-го производственного процесса».

Применяют и иные виды показателей. Так, для оценки уровня качества и конкурентности промышленной продукции в качестве критерия используется ***интегральный показатель***, которым является численная характеристика превосходства или конкурентности, являющаяся отношением группового показателя по техническим параметрам к групповому показателю по стоимостным показателям. Подробнее, интегральный показатель качества представляет собой отношение натурального эффекта (в натуральных единицах — штуках, тоннах и др.) от эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление, то есть натуральный удельный эффект от использования продукции (приходящийся на единицу денежных затрат) [14, с. 235–236].

Иерархическая система показателей используется отнюдь не только в задачах управления качеством. Аналогичные системы строятся, например, с целью анализа, оценки и управления рисками (см. главу 10 выше). Другим примером является иерархическая система показателей в методике сравнительного анализа родственных эконометрических моделей [19, прил. 3]. Эта методика имеет целью:

- по единой схеме оценивать качество эконометрических моделей;
- проводить сравнение однотипных эконометрических моделей;
- осуществлять выбор эконометрических моделей среди однотипных моделей с целью практического использования или углубленной доработки.

Рассматриваемая методика основана на выделении теоретических и эмпирических единичных показателей качества эконометрической модели, построении на их основе групповых и обобщенных показателей качества, их согласования и использовании для решения сформулированных выше задач.

Обобщенный показатель качества, построенный на основе иерархической системы показателей — частный, но весьма важный вид рейтинговой оценки (см. главу 11).

12.4. Применение экспертных оценок при упорядочении системы государственных стандартов

Крупное экспертное исследование было проведено с целью упорядочения системы государственных стандартов по статистическим методам управления качеством продукции. Расскажем о нем, обращая внимание на общие выводы и рекомендации, вытекающие из накопленного опыта.

Около 150 лет статистические методы применяются в России для проверки соответствия продукции установленным требованиям, т.е. для сертификации. Так, еще в 1846 г. действительный член Петербургской академии наук М.В. Остроградский рассматривал задачу статистического контроля партий мешков муки или штук сукна армейскими поставщиками [21]. С тех пор в России в статистическом контроле качества было сделано многое, особенно в области теории [19]. Актуальными и в настоящее время остаются работы выдающегося русского математика А.Н. Колмогорова (1903–1987) и его учеников [22].

С начала 1970-х годов стали разрабатываться государственные стандарты по статистическим методам. В связи с обнаружением в них грубых ошибок, 24 из 31, государственного стандарта по статистическим методам были отменены в 1986–1987 гг. (перечень стандартов и описание ошибок приведены в работе [23]). Это решение было основано на результатах крупного экспертного исследования, о котором пойдет речь в данном разделе.

Сначала рассмотрим процедуру подготовки такого ответственного нормативного документа, как государственный стандарт.

Типовая процедура подготовки деловых и нормативных документов. Внутри одной организации происходит координация действий специалистов и менеджеров при подготовке различных деловых документов — планов, приказов, предложений, направляемых в другие организации, ответов на распоряжения и запросы властей и др. Обычно один из сотрудников — назовем его Исполнителем — готовит первоначальный вариант документа. Он размножается и рассылается на отзыв заинтересованным в нем менеджерам и специалистам, а иногда и в другие организации. Исполнитель составляет сводку отзывов, с одними из замечаний соглашается, против других высказывает возражения. Затем собирают так называемое «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 генеральный директор или Совет директоров, т.е. высшая инстанция в данной организации.

Во многих случаях подготовка отзывов заменяется на *визирование,* при котором свое согласие менеджеры выражают, накладывая на документ *визу,* т.е. расписываясь (иногда добавляя несколько слов по затрагиваемой проблеме). Например, подготовленное для отправки в другую организацию письмо визируют руководители нескольких отделов, и генеральный директор его подписывает от имени фирмы, не вникая в суть (поскольку каждый день он подписывает десятки писем, 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.

Подготовка, согласование и утверждение федеральных и региональных законов, постановлений органов исполнительной власти, государственных и международных стандартов и иных нормативных документов проходит по более сложной, но похожей схеме. Например, в роли Исполнителя выступает не отдельный специалист, а организация. Подготовленный ею (по описанной выше схеме) документ рассылается на отзыв. Список рассылки может включать сотни организаций, состав этого списка во многом определяется соответствующими нормативными документами. Отзывы, подготовленные организациями (по описанной выше схеме подготовки делового документа внутри организации), направляются Исполнителю.

Разрабатываемый документ, как правило, разбит на отдельные пункты, и в отзывах обычно даются замечания и предложения по отдельным пунктам, а не только общая оценка документа. Эти правила подготовки отзывов облегчают сотрудникам организации-разработчика составления сводки, в которой для каждого конкретного пункта приводятся замечания организаций-рецензентов и их предложения по доработке формулировок пунктов. Затем по каждому пункту, включенному в сводку, организация-исполнитель готовит свое заключение, в котором замечания и предложения рецензентов обсуждаются и в итоге обоснованно отклоняются или полностью или частично принимаются. На основе этих заключений Исполнитель готовит вторую редакцию документа.

Организации-рецензенты получают от Исполнителя сводку отзывов (включая заключения по документу в целом и по отдельным пунктам) и вторую редакцию документа. И процесс повторяется.

Оставшиеся несогласованными положения обсуждаются на специальном совещании, организованном Исполнителем, на котором эксперты из различных организаций встречаются лично. Как правило, итогом согласительного совещания является полученный в результате компромисса итоговый проект документа, который поддерживают все участники описанного выше процесса разработки.

После этого проект государственного стандарта рассматривался на заседании научно-технической комиссии Госстандарта, участники которого уже, как правило, не были узкими специалистами по тематике обсуждаемого документа. В случае положительного решения совещательного органа — научно-технической комиссии — проект стандарта поступал к лицу, принимающему решение, — председателю Госстандарта (в ранге министра). После утверждения ЛПР проект становился нормативным документом, государственным стандартом, несоблюдение которого преследовалось по закону.

Приведенное выше краткое описание необходимо для понимания проблем работы экспертов в рассматриваемой области деятельности. Оно не заменяет системы нормативных документов, посвященных разработке государственных стандартов или иных нормативных документов. Не является нашей задачей также и обоснование или критика описанной системы подготовки нормативных документов.

Обратим внимание на то, что здесь речь идет об интенсивном использовании многоуровневых экспертных технологий. Велика роль Исполнителя, выступающего в роли коллективного председателя экспертной комиссии. Во многом от него зависит подбор экспертов – организаций-рецензентов, участников согласительного совещания. Причем вопрос о привлечении ведущих ученых и организаторов производства, специалистов по рассматриваемой тематике, остается в компетенции Исполнителя.

В качестве примера рассмотрим подготовку международных стандартов в рамках международной организации по стандартизации ИСО (*International Organization for Standardization — ISO*). В качестве «организаций» в приведенной выше схеме выступают национальные органы по стандартизации. В СССР это был Госстандарт. В области статистических методов управления качеством продукции конкретную работу выполнял выделенный Госстандартом подчиненный ему институт — ВНИИ стандартизации. Участие ведущих ученых из вузов или Академии наук не предусматривалось. Аналогична ситуация и в других странах. Результаты очевидны — научно-технический уровень ряда международных стандартов ИСО, по оценке ряда экспертов, отстает от переднего края научных исследовании на десятилетия.

Экспертный анализ стандартов по статистическим методам. В нашей стране послевоенное время расширялся фронт прикладных исследований с использованием статистических методов. В качестве очередного шага с начала 1970-х гг. стали разрабатываться государственные стандарты по статистическим методам управления качеством. Однако вскоре в них были обнаружены грубые ошибки.

По нашему предложению руководство ВНИИ стандартизации в 1985 г. организовало «Рабочую группу по упорядочению системы стандартов по прикладной статистике и другим статистическим методам». Так была названа экспертная комиссия по рассматриваемой тематике. В ее работе приняли участие 66 специалистов, в том числе 15 докторов и 36 кандидатов наук, представляющих предприятия и организации различных отраслей промышленности, академическую и вузовскую науку.

Рабочая группа выделила из своего состава четыре комиссии, которые анализировали стандарты по своей тематике, а именно, по прикладной статистике, статистическому контролю качества, статистическим методам регулирования технологических процессов и общим проблемам внедрения статистических методов. Каждый стандарт подробно анализировал специально выделенный рецензент, его письменное заключение размножалось и предоставлялось каждому члену соответствующей комиссии. После тщательного обсуждения на заседании комиссии с участием разработчиков стандартов принималось решение.

Выводы Рабочей группы кратко отражены в статьях [11, 23]. В соответствии с рекомендациями Рабочей группы 24 из 31 государственного стандарта по статистическим методам были отменены в 1986–1987 гг.

К сожалению, потеряв правовую силу как нормативные документы, ошибочные стандарты до сих пор продолжают использоваться инженерами как научно-технические издания. Полученные Рабочей группой результаты и выводы не были широко и подробно опубликованы, ошибки в государственных стандартах не были публично вскрыты, и авторы дальнейших публикаций продолжают ссылаться на издания с грубейшими ошибками. Так, в многочисленных работах пропагандируются ошибочные стандарты, посвященные применению контрольных карт при статистическом регулировании технологических процессов. В ряде статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Надежность и контроль качества» (1988, № 9, с. 48–52, 1991, № 4, с. 31–42 и др.) использовался уже отмененный к тому времени грубо ошибочный ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78) (в настоящее время отменен). Перечисленные факты делают целесообразным публикацию и популяризацию результатов и выводов Рабочей группы и в настоящее время, через 20 лет после окончания анализа стандартов по статистическим методам.

Примеры заключения экспертной комиссии. В качестве примера ошибочного стандарта обсудим ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78) «Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим» (в настоящее время отменен). Как следует из его обозначения, этот стандарт был утвержден в 1974 г., а в 1978 г. стал основой международного стандарта в рамках СЭВ — Совета экономической взаимопомощи, объединяющего европейские социалистические страны, Югославию и Кубу.

Этот стандарт является принципиально ошибочным. Основная ошибка известна специалистам с 1950-х гг. и подробно разбирается, например, в статье [24] и учебнике [25]. О нравах разработчиков ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78) (в настоящее время отменен) свидетельствует судьба отзыва проф. И.Н. Володина (Казанский государственный университет), в котором на 28 машинописных страницах разоблачались ошибки первого проекта стандарта и предлагались способы их устранения. Разработчики стандарта во ВНИИ стандартизации отзыв получили — и подшили в архивное «Дело ГОСТа». Все ошибки были бережно сохранены в окончательном тексте стандарта. Не реагировали разработчики стандарта и на дальнейшую критику. В соответствии с текстом стандарта попытки обрабатывать данные в соответствии с научными рекомендациями, описанными в [24, 25], должны были «преследоваться по закону» (!).

Применение ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78) (в настоящее время отменен) в отраслях народного хозяйства приносило вред. Примеры были приведены, в частности, специалистами НИИ резиновой промышленности, входившими в состав Рабочей группы. Из 30 выборок показателей качества при проверке по ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78) (в настоящее время отменен) лишь 2 не были признаны нормально распределенными, а при применении корректных методов негауссовскими оказались не 2, а подавляющее большинство, а именно, 25. Соответственно их дальнейшая обработка пошла по непараметрическому пути, т.е. совсем не так, как вытекало из применения ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78) (в настоящее время отменен).

В качестве второго примера рассмотрим терминологический стандарт ГОСТ 15895-77 (СТ СЭВ 547-77, СТ СЭВ 3404-81) «Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения» (он не был отменен тогда, несмотря на отрицательное заключение Рабочей группы, однако в настоящее время отменен).

Этот стандарт содержит огромное количество грубейших ошибок. Достойно удивления и сожаления, что подготовленные на столь низком научно-техническом уровне документы, как два рассматриваемых стандарта, оказались утвержденными не только в СССР (и затем в России), но и в рамках международной стандартизации (в рамках СЭВ). Не подействовали ни заключения ведущих специалистов, ни научные публикации. Только общие решения по переводу подобных стандартов на уровень рекомендательных документов избавил академиков и профессоров — авторов учебников по теории вероятностей и математической статистике, по статистическим методам и эконометрике — от «преследования по закону» (!) за использование определений и обозначений, отличающихся от включенных в рассматриваемый стандарт. Наличие подобных «стандартов» — одна из причин появления терминологического «Приложения 1» к учебнику [19]. Дальнейшее развитие работ в рассматриваемой научно-практической области отражено в статьях [19, 47, 48]. В свое время этот текст (опубликован в [29]) был разработан взамен негодного стандарта СТ СЭВ 3404-81, однако ввести его в качестве стандарта не удалось...

Как избежать ошибок в нормативно-технической и инструктивно-методической документации? Как уже отмечалось, многие ошибочные государственные стандарты по статистическим методам управления качеством были отменены (хотя результаты анализа, проведенного Рабочей группой, так и не были вовремя и полностью опубликованы). Однако эти стандарты продолжают и до сих пор использоваться как авторитетные научно-технические публикации. Почему так происходит? Как вообще могли появиться ошибки в нормативно-технических документах и почему в течение ряда лет эти документы использовались, несмотря на очевидные для специалистов ошибки?

Дело в том, что инженеру, экономисту, менеджеру, работнику прикладной науки (короче — инженеру) несвойственно менять свою специальность, становиться математиком и самостоятельно повторять выкладки и рассуждения, положенные в основу ГОСТа. Поэтому инженер обычно не может самостоятельно обнаружить математические ошибки в ГОСТе, даже грубейшие. Главное — он не хочет и не должен этим заниматься. С другой стороны, математику (специалисту по статистическим методам) несвойственно анализировать нормативно-техническую документацию. Он также обычно не хочет этим заниматься. «Рабочая группа по упорядочению системы стандартов по прикладной статистике и другим статистическим методам» была уникальным примером совместной работы математиков и инженеров, именно поэтому ей удалось сопоставить тексты стандартов с результатами современной науки.

Вполне естественно, что виновные в появлении ошибок лица сделали всё, чтобы помешать признанию и исправлению допущенных ими ошибок в государственных стандартах. До сих пор продолжаются попытки навязать промышленности (в качестве нормативных и методических документов, в том числе международных стандартов!) тексты, грубая ошибочность которых давно установлена. Кроме того, государственные стандарты, отмененные как нормативно-технические документы, продолжают физически существовать как издания (брошюры) и использоваться при проведении инженерных расчетов, проектировании систем контроля и т.д. Все это делает необходимым пропаганду выводов Рабочей группы относительно ГОСТов по статистическим методам и вообще достижений современной статистической науки, а также организацию борьбы с ошибками.

От экспертизы — к научным разработкам и их внедрению. В 1988–1989 гг. наиболее активная часть Рабочей группы (10 докторов и 15 кандидатов наук) составили «Аванпроект комплекса методических документов и пакетов программ по статистическим методам стандартизации и управления качеством». Это обширное сочинение (около 1 600 с.) и на настоящий момент является наиболее полным руководством по рассматриваемой тематике. Информация о нем приложена к изданному массовым тиражом переводу книги японских авторов по аналогичной тематике [26].

К сожалению, Госстандарт не пожелал финансировать реализацию заказанного им «Аванпроекта». Тогда решено было действовать самостоятельно. В 1989 г. нами был организован Центр статистических методов и информатики (ЦСМИ; в настоящее время — Институт высоких статистических технологий и эконометрики МГТУ им. Н.Э. Баумана). К середине 1990 г. в ЦСМИ были разработаны 7 диалоговых систем по современным статистическим методам управления качеством, а именно, СПК, АТСТАТ-ПРП, СТАТКОН, АВРОРА-РС, ЭКСПЛАН, ПАСЭК, НАДИС (описания этих систем приведены в работе [27]). В работе участвовали 128 специалистов. В дальнейшем к ЦСМИ присоединялись новые группы научно-технических работников, уже к концу 1991 г. нас было более 300. Информация о программных продуктах и другой деятельности ЦСМИ постоянно помещалась в журналах «Заводская лаборатория» и «Надежность и контроль качества». Программные продукты, разработанные Центром статистических методов и информатики, использовались более чем в 100 организациях и предприятиях. Среди них — производственные объединения

«Уралмаш», «АвтоВАЗ», «Пластик», ЦНИИ черной металлургии им. Бардина, НИИ стали, ВНИИ эластомерных материалов и изделий, НИИ прикладной химии, ЦНИИ химии и механики, НПО «Орион», НИЦентр по безопасности атомной энергетики, ВНИИ экономических проблем развития науки и техники, ВНИИ нефтепереработки, МИИТ, Казахский политехнический институт, Ульяновский политехнический институт, Донецкий государственный университет и др.

Параллельно ЦСМИ вел работу по объединению статистиков и эконометриков. В апреле 1990 г. в Большом Актовом Зале Московского Энергетического института прошла Учредительная конференция Всесоюзной организации по статистическим методам и их применениям. На Учредительном съезде Всесоюзной статистической ассоциации (ВСА) в октябре 1990 г. в Московском экономико-статистическом институте эта организация вошла в состав ВСА в качестве секции статистических методов (подробнее о создании и задачах ВСА рассказано, например, в статьях [10, 28]). В 1992 г. после развала СССР и фактического прекращения работы ВСА на основе секции статистических методов ВСА организована Российская ассоциация по статистическим методам (РАСМ), а затем и Российская академия статистических методов, действующие и в настоящее время. В мероприятиях секции статистических методов ВСА и РАСМ активно участвовали несколько сот специалистов по статистическим методам и эконометрике. А одной из основных тематик этих специалистов являются, как следует из сказанного выше, статистические методы в сертификации (управлении качеством). В ЦСМИ и РАСМ, объединивших большинство ведущих российских специалистов, коллективными усилиями разработан единый подход к проблемам применения статистических методов в сертификации и управлении качеством, отраженный, в частности, в учебнике [19]. Дальнейшее развитие работ в рассматриваемой научно-практической области отражено в статьях [19, 47, 48].

Подведем итоги настоящего раздела. В России активно разрабатываются теоретические, программные и практические аспекты эконометрические и статистических методов сертификации и управления качеством продукции. Некоторые из них кратко рассмотрены выше. Ранее разработанные нормативно-техническая и методическая документация, диалоговые компьютерные системы по статистическим методам продолжают использоваться, несмотря на политические преобразования. В частности, стандарты СССР и СЭВ продолжают оставаться широко известными методическими документами, хотя СССР и СЭВ уже нет. Большое значение имеет работа по устранению ошибок в нормативно-технических и инструктивно-методических документах с целью уменьшения числа ошибок в практической работе. Важно создать такую систему, чтобы никто не мог навязать стране свои ошибки в качестве стандартов, проигнорировав протесты ведущих специалистов. При этом условии внедрение современных эконометрических методов сертификации и управления качеством продукции могут дать нашей стране экономический эффект, измеряемый миллиардами долларов США в год [19].

12.5. Экспертные оценки в оценочной деятельности и инвестиционном менеджменте

Необходимость оценки стоимости бизнеса, инвестиций, недвижимости и других активов актуальны как для организаций, так и для физических лиц [30]. Органы государственной власти заинтересованы, в частности, в подготовке нормативных и методических документов по проведению массовой оценки стоимости недвижимого имущества для целей налогообложения. Для простоты речи будем говорить об оценке стоимости предприятия (бизнеса). Для физических лиц важна оценка стоимости недвижимости, например, квартиры.

Обычно выделяют три подхода к оценке стоимости предприятия — затратный, доходный и сравнительный. Проводят и комплексную оценку, в частности, на основе соответствующего обобщенного показателя (рейтинга) [30].

Затратный подход состоит в оценке стоимости активов предприятия на основе бухгалтерской отчетности и анализа его финансово-хозяйственной деятельности. Используют метод накопления активов (т.е. расчета балансовой стоимости активов), метод расчета восстановительной стоимости активов, стоимости замещения, ликвидационной стоимости, показатель «чистые активы». Затратный подход обращен в прошлое, основан на анализе истории экономической деятельности предприятия. Он активно использует индивидуальные экспертные оценки, в частности, при сопоставлении результатов применения конкретных методов оценки, учете инфляции, оценке стоимости производственных запасов (методами ФИФО, ЛИФО и др.) [31].

Доходный подход предполагает оценку будущих доходов, которые может принести данное предприятие. Можно сказать, что речь идет об оценке экономической эффективности инвестиций в покупку предприятия. Оценка стоимости предприятия при доходном подходе — это тот максимальный объем инвестиций, при котором они еще остаются экономически выгодными. С помощью экспертов составляют сценарий развития предприятия (бизнес-план), рассчитывают соответствующий финансовый поток и его характеристики, в частности, чистую текущую стоимость *NPV* (а для этого экспертно оценивают приемлемый для инвестора уровень доходности, т.е. коэффициент дисконтирования), анализируют и оценивают риски, разрабатывают планы управления рисками. Доходный подход основан на прогнозе будущего развития предприятия и его рыночного окружения, а такой прогноз предполагает интенсивное использование современных технологий экспертного прогнозирования.

Сравнительный подход называют также рыночным. Выделяют совокупность аналогичных предприятий, проданных в последнее время (решают, какие предприятия считать сравнимыми), и анализируют рыночные цены, зафиксированные в актах их купли-продажи. Сравнительный подход предполагает движение не по оси времени (для затратного подхода — в прошлое, для доходного — в будущее), а в пространстве — анализ стоимостей аналогичных предприятий в тот момент времени, когда проводится оценка. Необходимо предсказать цену, за которую будет продано оцениваемое предприятие. Поскольку предприятия отличаются друг от друга, то с помощью экспертов проводят соответствующие исследования:

1. Выделяют совокупность аналогичных объектов оценки, как теоретическую генеральную совокупность, так и обучающую выборку (здесь использованы термины прикладной статистики [25]).

2. Выделяют совокупность характеристик, описывающих предприятия из рассматриваемой генеральной совокупности, и формируют информационную базу для решения задачи оценки стоимости предприятия.

3. По эмпирическим данным восстанавливают функциональную зависимость рыночной стоимости (цены) от характеристик предприятий.

4. На основе характеристик оцениваемого предприятия рассчитывают прогнозируемое значение его рыночной стоимости.

Например, при разработке алгоритмов оценивания рыночной стоимости жилых квартир в качестве генеральной совокупности естественно взять все квартиры определенного региона (например, Москвы). В качестве обучающей выборки не менее естественно взять доступную информацию о продажах за последнюю единицу времени (месяц или год). Проблема сбора такой информации нетривиальна. Может оказаться доступной лишь цена продавца, как правило, превышающая цену сделки. Перечень характеристик объектов оценки (квартир) достаточно очевиден:

1. Общая площадь (в квадратных метрах).

2. Жилая площадь.

3. Количество комнат.

4. Тип дома (панельный, кирпичный и т.п.).

5. Этаж (первый; последний; иные).

6. Оценка привлекательности (престижности) района.

7. Оценка экологической безопасности.

8. Оценка текущего состояния и степени износа квартиры и дома.

9. Оценка инфраструктуры, и т.д.

С точки зрения прикладной статистики [25] речь идет о регрессионном анализе разнотипных данных, входящем в статистику нечисловых данных. Прагматичный, но не вполне корректный подход состоит в оцифровке всех характеристик (т.е. введении баллов для характеристик, измеренных в качественных шкалах) с целью перехода к количественным признакам, а затем в применении стандартного метода наименьших квадратов. Методы восстановления зависимостей от разнотипных переменных продолжают развиваться [32], находя все большее применение в решении организационно-экономических задач [33].

При рассмотрении конкретных постановок задач оценки стоимости предприятий (бизнеса) или иных экономических единиц расчетные значения, полученные с помощью трех рассмотренных подходов (или двух, если какой-либо из подходов применить не удается), как правило, различаются, иногда на десятки процентов. Для получения единой оценки необходимо их усреднить с помощью того или иного метода агрегирования (другими словами, построения рейтинговой оценки, обобщающего показателя). Как уже не раз обсуждалось, весовые коэффициенты в таких случаях обычно определяют экспертным путем.

Роль экспертных оценок в инвестиционном менеджменте. Как уже отмечалось, доходный подход к оценке стоимости предприятия по своей организационно-экономической сути является частью инвестиционного менеджмента. Обсудим место и роль экспертных оценок в инвестиционном менеджменте. Напомним, что термин «инвестиции» в переводе на русский язык означает «капиталовложения». С точки зрения теории принятия решений, в том числе на основе интенсивного использования экспертных технологий, проблемы инвестиционного менеджмента рассмотрены в [5, 34, 35].

Инвестирование представляет собой один из наиболее важных аспектов деятельности любой развивающейся организации. Причины, обусловливающие необходимость инвестиций, могут быть различными, однако в целом их можно подразделить на три вида: обновление имеющейся материально-технической базы, наращивание объемов производственной деятельности, освоение новых видов деятельности.

Любой инвестиционный проект может быть охарактеризован с различных сторон: финансовой, технологической, организационной, временной, экологической, социальной и др. Каждая из них по-своему важна, однако финансовые аспекты инвестиционной деятельности во многих случаях имеют решающее значение.

Например, речь идет о реконструкции действующего предприятия или строительстве нового завода. Помимо финансовой выгодности, нельзя забывать, скажем, и о социальном окружении: с одной стороны, появятся новые рабочие места (легко ли будет их заполнить?), с другой стороны, население может выступить против проекта, сочтя его экологически вредным. В соответствии с Федеральным законом «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 № 174-ФЗ любая намечаемая хозяйственная или иная деятельность рассматривается как имеющая потенциальную экологическую опасность, а потому любая такая деятельность подлежит государственной экологической экспертизе (за счет заказчика). Только при ее положительном заключении разрешается финансирование и кредитование проекта.

Инвестиционные проекты разрабатывают не только частные структуры, но и государственные организации. Так, изменение налоговой системы — тоже инвестиционный проект.

С экономической точки зрения инвестиционные проекты описываются потоками платежей, т.е. функциями от времени, значениями которых являются сальдо поступлений и затрат за очередной интервал времени. Как правило, вначале необходимо вкладывать деньги (производить затраты), а затем за счет поступлений возмещать затраты и получать прибыль. Однако возможны и ситуации, когда завершение проекта (например, закрытие атомной электростанции и утилизация отработанного ядерного топлива) требует существенных вложений.

В конкретный промежуток времени обычно происходят как поступления, так и платежи. Как элемент финансового потока рассматривается итоговый результат — сальдо, т.е. поступления минус платежи. Этот результат может быть как положительным, так и отрицательным.

Для различных вариантов управляющих воздействий на процессы налогообложения (например, различных вариантов изменения ставок налогов) при сравнении их с действующей системой ситуация аналогична. Если в результате управляющих воздействий налоговые сборы в некоторый момент меньше тех, что при действующей системе, то элемент финансового потока является отрицательным (приращение поступлений отрицательно), в противном случае — положительным (приращение налоговых поступлений положительно). Для любого управляющего воздействия часть поступлений оказывается отрицательной, часть — положительной, и проблема состоит в их соизмерении, поскольку они относятся к различным моментам времени.

Ясно, что финансовый поток инвестиционного проекта определяется разработанным в результате экспертного исследования сценарием развития проекта.

В финансовом плане, когда речь идет о целесообразности принятия того или иного инвестиционного проекта, необходимо получить ответы на три вопроса:

а) каков необходимый объем финансовых ресурсов?

б) где найти источники финансирования (кредитования) в требуемом объеме и какова цена их услуг?

в) окупятся ли сделанные вложения, т.е. достаточен ли объем прогнозируемых поступлений по сравнению со сделанными инвестициями?

Ответ на первый вопрос определяется инженерной сутью проекта и выражается в виде финансового потока, обоснованного в бизнес-плане, разработанном на основе сценария, полученного в результате экспертного исследования. Ответ на второй вопрос зависит от конкретной ситуации на финансовом рынке, для оценки которой необходимы эксперты. Для ответа на третий вопрос необходимо от финансового потока как функции времени перейти к той или иной его обобщенной характеристике. Такой переход целесообразен также при сравнении различных проектов.

Отметим, что как при изменении налоговой системы путем варьирования значений управляющих параметров, так и при реализации иных крупных инвестиционных проектов меняются также и значения социальных, технологических, экономических, экологических и политических факторов (сокращенно, СТЭЭП-факторов). Например, строятся или приходят в упадок дороги, создаются или сокращаются рабочие места и т.д. Другими словами, оценку управляющих воздействий на процессы налогообложения, как и крупных инвестиционных проектов, нельзя проводить только с экономической точки зрения, должен учитываться весь комплекс СТЭЭП-факторов. При этом, очевидно, необходимо применять разнообразные процедуры экспертных оценок для комплексного учета СТЭЭП-факторов, нельзя опираться лишь на чисто экономические расчеты.

Обсудим подходы к сравнению инвестиционных проектов (и оценке управляющих воздействий на процессы налогообложения). Прежде всего отметим, что сравнение инвестиционных проектов — это сравнение функций от времени. Кроме того, имеется внешняя среда, которая проявляется в виде дисконт-функции как результата воздействия СТЭЭП-факторов, и представлений законодателя или инвестора. Эти априорные представления проявляются в основном в виде ограничений на потоки платежей (в частности, могут быть заданы ограничения на объем кредитов или налогов) и на горизонт планирования, рассматриваемый лицом или лицами, принимающими решения (законодателями, работниками государственных органов, занимающихся проблемами налогов и сборов, или инвестором).

Одна из основных проблем при сравнении инвестиционных проектов такова: что лучше — меньше, но сейчас, или больше, но потом? Например, существенно увеличив сбор налогов сейчас, мы уменьшим рост производства. И, следовательно, в дальнейшем из-за уменьшившейся налоговой базы будем собирать налогов меньше, чем в ситуации, когда мы вначале сократим ставки налогов, что даст быстрый рост производства и налоговой базы, и сборы в бюджет возрастут — но потом, а не сейчас. Похожая ситуация описана в пословице: что лучше — синица в руках или журавль в небе?

Та же проблема возникает при сравнении инвестиционных проектов, рассматриваемых частным инвестором. Как правило, чем больше вкладываем сейчас, тем больше получаем в более или менее отдаленном будущем. Вопрос в том, достаточны ли будущие поступления, чтобы покрыть нынешние платежи и обеспечить приемлемую прибыль?

Выбирая для реализации тот или иной инвестиционный проект, как и выбирая тот или иной вариант налоговой политики, те или иные управляющие воздействия на процесс налогообложения, мы сравниваем потоки платежей. При этом ситуация с частными инвестиционными проектами проще, поскольку мы можем существенно более точно предсказать моменты и размеры будущих поступлений и платежей для конкретного проекта, чем в случае системы налогообложения, охватывающей всех юридических и физических лиц. С другой стороны, будущие налоговые сборы должны учитываться при оценке эффективности инвестиционных проектов.

Среди экономических характеристик (критериев) инвестиционных проектов один из основных — **чистая текущая стоимость.** Этот критерий основан на сопоставлении величины исходных инвестиций (IC) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений, генерируемых проектом в течение прогнозируемого срока. Поскольку приток денежных *средств распределен во времени, он дисконтируется с помощью* коэффициента q. Выбор значения этого коэффициента может осуществляться из различных соображений. Например, он может быть установлен аналитиком (выступающим от имени инвестора), исходя из ежегодного процента возврата, который инвестор хочет или может иметь на инвестируемый им капитал.

Допустим, делается прогноз, что исходные инвестиции (IC) будут генерировать в течение n лет годовые доходы в размере P_1, P_2, ..., P_n. Общая накопленная *величина дисконтированных доходов (Present Value, PV)* и *чистая текущая стоимость (Net Present Value, NPV)* соответственно рассчитываются по формулам:

$$PV = \sum_{k=1}^{n} \frac{P_k}{(1+q)^k}, \quad NPV = PV - IC .$$

Очевидно, что если $NPV > 0$, то проект экономически выгоден; если $NPV < 0$, то проект экономически невыгоден и его целесообразно отвергнуть; при $NPV = 0$ проект не является ни прибыльным, ни убыточным.

Разработано много методов определения коэффициента дисконтирования q. Выбор среди них — дело экспертов. Ряд методов предусматривает использование экспертов. Кроме того, очевидно, что коэффициент дисконтирования должен меняться со временем, поскольку меняются определяющие его ставка рефинансирования, индекс инфляции, риски хозяйственных операций. Необходимо оценивать погрешности характеристик инвестиционного проекта. В [36, 37] разработан метод изучения отклонений NPV в зависимости от допустимых отклонений погодовых коэффициентов дисконтирования. При этом максимально допустимое отклонение коэффициентов дисконтирования определяется в результате экспертного исследования. И риски инвестиционного проекта оцениваются прежде всего экспертами (см. главу 10).

Необходимость применения экспертных оценок при сравнении инвестиционных проектов. Из сказанного выше и анализа ситуации, проведенного в [34, 35], вытекает, что разнообразные формальные методы оценки характеристик и рисков инвестиционных проектов во многих случаях (реально во всех нетривиальных ситуациях) не могут дать однозначных рекомендаций.

Поэтому процедуры экспертного оценивания нужно применять не только на заключительном этапе — при принятии решения о целесообразности реализации, но и на всех остальных этапах анализа инвестиционного проекта. При этом необходимо использовать весь арсенал теории и практики экспертных оценок, весьма развитой области научной и практической деятельности. В конце процесса принятия решения — всегда человек.

Мы не призываем отказаться от формально-экономических методов. Вычисление чистой текущей стоимости и других характеристик финансовых потоков, использование соответствующих программных продуктов полезно для принятия обоснованных решений. Однако нельзя абсолютизировать формально-экономические методы. Например, на основной вопрос: *что лучше — быстро, но мало, или долго, но много* — ответить могут только эксперты.

Поэтому система поддержки принятия решений в области управления инвестициями, а также, например, совершенствования налогообложения (в то числе оценки управляющих воздействий на процессы налогообложения) должна сочетать формально-экономические и экспертные процедуры.

12.6. Прогнозирование и метод сценариев

В главе 1 были рассмотрены основные идеи одной из самых популярных экспертных технологий — технологии сценарных экспертных прогнозов. В предыдущем разделе показана роль этих технологий в оценочной деятельности и при управлении инвестициями.

Академия Прогнозирования. В нашей стране исследования по прогнозированию ведут многие организации и отдельные специалисты. Среди них выделяется общественная Академия Прогнозирования (Исследований Будущего). Она является Российским отделением Международной Академии исследований будущего (IFRA). Академия прогнозирования создана по инициативе пяти ассоциаций и центров и объединяет специалистов, которые изучают перспективы развития различных процессов и явлений.

Академия Прогнозирования опирается в своей деятельности на концепцию технологического прогнозирования (проблемно-целевой подход в исследованиях будущего), сформулированную в 1924–1927 гг. В.А. Базаровым-Рудневым и затем, независимо от него, в конце 1950-х и начале 1960-х гг. О. Гелмером, Т. Гордоном, Д. Беллом, Б. Де Жувенелем и др. футурологами. Академия развивает прогностические традиции, заложенные в трудах Н.Д. Кондратьева, В.И. Вернадского, К.Э. Циолковского, А.П. Сорокина, Л.А. Чижевского, А.Н. Колмогорова, Н. Винера и др.

В России были предприняты три попытки создания общественной (внегосударственной) научной организации теоретиков и практиков прогнозирования. Первая попытка — в 1966–1970 гг. работала Советская ассоциация научного прогнозирования, которая собирала ежемесячно семинары с сотнями участников, выпускала ряд изданий и т.д. Она была распущена в 1971 г. Вторая попытка началась неофициальными семинарами в Московском Авиационном институте, что привело к созданию в 1976 г. Комиссии по научно-техническому прогнозированию в одном из комитетов Всесоюзного Совета научно-технических обществ (ВСНТО). В 1979 г. комиссия была развернута в Комитет по научно-техническому прогнозированию и разработке комплексных программ научно-технического прогресса ВСНТО (затем Совета научных и инженерных обществ СССР) в составе более десятка комиссий: по теории и методологии прогнозирования, по социальным, экономическим, экологическим, глобальным проблемам прогнозирования. Формально Комитет существует до сих пор, а фактически парализован крушением СССР.

Третья попытка началась в 1988–1990 гг. семинарами Ассоциации содействия Всемирной федерации исследований будущего (президент проф. И.В. Бестужев-Лада, академик РАО). Академия прогнозирования (исследований будущего) АП (ИБ) создана в апреле 1997 г. как межрегиональная и междисциплинарная общественная организация, объединяющая специалистов, которые изучают перспективы развития различных процессов и явлений. Она имеет целью содействовать обмену информацией, представляющей интерес для ее членов, подготовке и переподготовке прогнозистов, координацию деятельности в сфере прогнозирования. В сентябре 1999 г. АП (ИБ) стала институциональным членом Международной академии исследований будущего (International Future Research Academy). Сегодня Академия Прогнозирования работает по сорока основным направлениям научного прогнозирования и представляет собой кооперацию специалистов в сфере прогнозирования.

Основные методы прогнозирования — статистические и экспертные [50, 51]. Кратко их рассмотрим.

Статистические методы прогнозирования — научная и учебная дисциплина, к основным задачам которой относятся:

- разработка, изучение и применение современных математико-статистических методов прогнозирования на основе объективных данных (в том числе непараметрических методов наименьших квадратов с оцениванием точности прогноза, адаптивных методов, методов авторегрессии и др.);

- развитие теории и практики вероятностно-статистического моделирования экспертных методов прогнозирования (в том числе методов анализа субъективных экспертных оценок на основе статистики нечисловых данных; методов прогнозирования в условиях риска и комбинированных методов прогнозирования с использованием совместно экономико-математических и эконометрических (как математико-статистических, так и экспертных) моделей).

Научной базой статистических методов прогнозирования является прикладная статистика [25] и теория принятия решений [34, 35].

Простейшие методы восстановления используемых для прогнозирования зависимостей исходят из заданного временного ряда, т.е. функции, определенной в конечном числе точек на оси времени. Временной ряд при этом часто рассматривается в рамках той или иной вероятностной модели, вводятся другие факторы (независимые переменные), помимо времени, например, объем денежной массы. Временной ряд может быть многомерным. Основные решаемые задачи — интерполяция и экстраполяция. Метод наименьших квадратов в простейшем случае (линейная функция от одного фактора) был разработан К. Гауссом в 1794–1795 гг. Могут оказаться полезными предварительные преобразования переменных, например, логарифмирование. Наиболее часто используется метод наименьших квадратов при нескольких факторах (2–5). Метод наименьших модулей, сплайны и другие методы экстраполяции применяются реже, хотя их статистические свойства зачастую лучше.

Опыт прогнозирования индекса инфляции и стоимости потребительской корзины накоплен в Институте высоких статистических технологий и эконометрики [19]. Оказалось полезным преобразование (логарифмирование) переменной — текущего индекса инфляции. При стабильности условий точность прогнозирования оказывалась достаточно удовлетворительной — 10–15 %. Однако спрогнозированное на осень 1996 г. значительное повышение уровня цен не осуществилось. Причина — руководство страны перешло к стратегии сдерживания роста потребительских цен путем массовой невыплаты долгов юридическим и физическим лицам. Условия изменились — и статистический прогноз оказался непригодным.

Оценивание точности прогноза (в частности, с помощью доверительных интервалов) — необходимая часть процедуры прогнозирования. Обычно используют вероятностно-статистические модели восстановления зависимости, например, строят наилучший прогноз по методу максимального правдоподобия. 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, предложены и изучены непараметрические 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 вероятностно-статистической теории: метод скользящих средних, метод экспоненциального сглаживания.

Многомерная регрессия, в том числе с использованием непараметрических оценок плотности распределения — основной на настоящий момент статистический 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, технологии линеаризации и наследования сходимости [18]. 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. Априорный список факторов, оказывающих влияние на отклик, обычно весьма обширен, желательно его сократить, и крупное направление современных исследований посвящено методам отбора «информативного множества признаков». Однако эта проблема пока еще окончательно не решена. Проявляются необычные эффекты. Так, установлено, что обычно используемые оценки степени полинома имеют в асимптотике геометрическое распределение [19, 25]. Перспективны непараметрические методы оценивания плотности вероятности и их применения для восстановления регрессионной зависимости произвольного вида. Наиболее общие результаты в этой области получены с помощью подходов статистики нечисловых данных.

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 (так называемых «малых») объемах выборок полезны компьютерные статистические технологии. Они позволяют также 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, включающий, в частности, определение и расчет нотны и рационального объема выборки, а также регрессионный анализ нечетких данных, разработанный в [38]. Общая постановка [25] регрессионного анализа в рамках статистики нечисловых данных и ее частные случаи — дисперсионный анализ и дискриминантный анализ (распознавание образов с учителем), давая единый подход к формально различным методам, полезна при программной реализации современных статистических методов прогнозирования.

Экспертные методы прогнозирования. Основными процедурами обработки прогностических экспертных оценок являются проверка согласованности, кластер-анализ и нахождение группового мнения. Проверка согласованности мнений экспертов, выраженных ранжировками, проводится с помощью коэффициентов ранговой корреляции Кендалла и Спирмена, коэффициента ранговой конкордации Кендалла и Бэбингтона Смита. Используются параметрические модели парных сравнений — Терстоуна, Бредли — Терри — Льюса — и непараметрические модели теории люсианов [19, 25]. Полезна процедура согласования ранжировок и классификаций путем построения согласующих бинарных отношений. При отсутствии согласованности разбиение мнений экспертов на группы сходных между собой проводят методом ближайшего соседа или другими методами кластерного анализа (автоматического построения классификаций, распознавания образов без учителя). Классификация люсианов осуществляется на основе вероятностно-статистической модели.

Используют различные методы построения итогового мнения комиссии экспертов. Своей простотой выделяются методы средних арифметических и медиан рангов. Компьютерное моделирование [19] позволило установить ряд свойств медианы Кемени, часто рекомендуемой для использования в качестве итогового (обобщенного, среднего) мнения комиссии экспертов. Интерпретация закона больших чисел для нечисловых данных в терминах теории экспертного опроса такова: итоговое мнение устойчиво, т.е. мало меняется при изменении состава экспертной комиссии, и при росте числа экспертов приближается к «истине». При этом в соответствии с принятым в [18] подходом предполагается, что ответы экспертов можно рассматривать как результаты измерений с ошибками, все они — независимые одинаково распределенные случайные элементы, вероятность принятия определенного значения убывает по мере удаления от некоторого центра — «истины», а общее число экспертов достаточно велико.

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 [34, 35] 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.

Современные компьютерные технологии прогнозирования основаны на интерактивных статистических методах прогнозирования с использованием баз эконометрических данных, имитационных (в том числе на основе применения метода статистических испытаний) и экономико-математических динамических моделей, сочетающих экспертные, математико-статистические и моделирующие блоки.

Литература по статистическим методам прогнозирования весьма обширна (содержит не менее 100 000 статей и книг). Здесь процитированы источники, в которых информация приведена в единую систему в соответствии с рекомендациями Российской академии статистических методов и Международной академии исследований будущего.

Технологии экспертного прогнозирования, прежде всего методом сценариев, систематически рассмотрены в [39]. Разработке конкретных прогнозов методом сценариев посвящены работы [40–43], методологические аспекты которых продолжают оставаться актуальными.

В сценарном подходе мы формулируем исходные предположения и затем отвечаем на вопрос: «Что будет, если?..» В качестве примера рассмотрим сюжет, посвященный последствиям перехода к схеме «открытой торговли».

Нобелевский лауреат по экономике Пол Самуэльсон в своем учебнике [44] пишет: «Беспрепятственно осуществляемая торговля способствует взаимовыгодному международному разделению труда, в большой степени увеличивает потенциально реальный национальный продукт всех стран и создает возможность повышения уровня жизни на всем земном шаре». Конечно, Россия и СССР всегда были на мировом рынке, всегда торговали с зарубежными странами, но сейчас речь об ином — о снятии таможенных барьеров.

Посмотрим, что будет с Россией, если мы войдем в мировой рынок (в смысле П. Самуэльсона), т.е. примем безграничную свободу торговли, уберем все таможенные барьеры.

Начнем с прогноза развития сельского хозяйства. У нас климат — не лучший для земледелия, длинные зимы и дороги, маленькая плотность населения, сравнительно (с Францией и США) низкая урожайность. Невыгодно сажать пшеницу и разводить коров, дешевле купить за рубежом. И с этим нам придется смириться — такова география России.

Поэтому на нашем рынке западные продовольственные товары будут дешевле отечественных. Неконкурентоспособные фирмы должны исчезнуть — таков закон «свободного рынка». Значит, сельское хозяйство России обречено.

Сначала разорятся хозяйства, поставляющие продукты на рынок, крестьяне станут безработными. Затем наиболее активные из них уедут из деревни, а оставшиеся перейдут к натуральному хозяйству на своих приусадебных участках. Отомрет инфраструктура — магазины, связь, школы, больницы. Шансы выжить есть лишь у сельскохозяйственного товаропроизводителя юга России — на Кубани, в Ставрополье. А в Центральной России все больше заброшенных полей.

В чем же мы конкурентоспособны? Еще совсем недавно мы делали половину военной техники, выпускаемой в мире. Но «холодная война» кончилась, ракеты уничтожают. Разве будут США, Германия и Япония поддерживать развитие нашей оборонной промышленности?

Может быть, выход в конверсии? Но совсем не так легко перейти от выпуска танков к производству тракторов, как казалось 15–20 лет назад. Нужны инвестиции, и не малые. Оправдаются ли они для мировой экономики? И тут опять придется вспомнить о российской зиме, о необходимости строительства заводских корпусов и их отоплении, о длинных русских дорогах. Дешевле построить и содержать завод в Алжире, чем в Архангельске, и никуда от этого не уйти. Наш климат требует дополнительных вложений в 2 000 долл. США в год на одно рабочее место по сравнению с Алжиром и Китаем.

Зачем американцам и европейцам переносить современные технологии в Россию, да и вообще давать работу русским, когда у себя — безработица? Да они, русские, и английского языка не знают, и работать под надзором западных менеджеров не умеют. Возможно, и не захотят.

Короче, будущее российской промышленности в условиях свободного рынка почти столь же мрачно, как и будущее нашей деревни. Большая ее часть обречена на поражение в конкурентной борьбе ближайших десятилетий, а потому — на уничтожение.

В чем же Россия имеет преимущества по сравнению с другими странами? В производстве сырья — нефти, газа, леса, стали. алюминия... И сырьевые отрасли вошли в мировое хозяйство без границ. Правда, до тех пор, пока добыча нефти остается экономически выгодной, т.е., по разным оценкам, до 2010–2015 г.

Большие пространства России хороши для создания мировых хранилищ вредных отходов, в том числе радиоактивных, да и попросту мусора. В этом виде «деятельности» у нас мало конкурентов.

Итак, сельское хозяйство и почти вся промышленность обречены. Сколько-то рабочих мест останется — охранники банков и продавцы продуктов, могильщики и мэры всегда будут нужны. Но большая часть населения лишится работы. Как ни странно может показаться, для мирового сообщества дешевле кормить и одевать (в поношенную на Западе одежду) безработных россиян, чем дать им возможность трудиться на своих неконкурентоспособных предприятиях.

И тогда проявится еще одно преимущество России перед другими странами — большое число дешевых рабочих рук. Они найдут применения во всем мире.

Что будет дальше? Если примем безграничную свободу торговли, уберем все таможенные барьеры, то прогноз неблагоприятен. Население, лишаясь нормальных условий для жизни, будет уходить не только из деревень, но и с северных территорий. Этот процесс уже сейчас активно идет. При добыче сырья придется перейти на вахтовый метод. При отсутствии отечественной промышленности сырьевые отрасли будут насыщаться зарубежной техникой, а потому и вахты будут состоять в основном из иностранцев.

Примерно к 2050 г. Россия превратится в территорию, покрытую запретными зонами, окружающими свалки опасных отходов, на которой в разрушающихся от старости городах еще живут несколько десятков миллионов читателей настоящего учебника, наших детей и внуков, которых из гуманных соображений кормят и одевают миссии ООН (на кредиты Международного валютного фонда и Всемирного банка). Конечно, детей учат в школах в ооновских школах.

Однако на каком языке? Поскольку деньги на учебу дает мировой капитал, то и занятия идут на английском языке. Родители не возражают — ведь работу их дети смогут найти лишь за пределами России. Но — на каком языке учат, на каком разговаривают на работе и после работы — на том начинают и думать. Наши внуки и правнуки будут думать на английском языке.

Итак, к 2050 г. Россия превратится в огромную резервацию типа тех, что правительство США содержит для индейских племен. Существенная часть пока еще нашей земли будет занята мировыми свалками или отторгнута сырьевыми компаниями с иностранным персоналом. На оставшейся территории мы сможем жить «привычной» жизнью, питаясь подаяниями мирового сообщества.

Вот что будет, если Россия войдет в мировой рынок, вооружась лозунгом свободной торговли. Конкретные политические действия и экономические решения могут несколько замедлить или убыстрить общий ход событий, но не могут изменить финальное состояние — если только не будет поставлено пределов свободе торговли и мировому рынку.

То, что Вы прочитали — не фантастическая антиутопия, это — научный прогноз на основе западной экономической теории. Применен метод сценариев из теории экспертных оценок.

Обсудим результаты экспертного прогнозирования. Конечно, такого ужаса не будет. Любое мало-мальски разумное правительство России будет защищать отечественного товаропроизводителя. Но под влиянием постоянной пропаганды средств массовой дезинформации в 1990-е гг. лозунги «свободы торговли» и «ликвидации неконкурентоспособных предприятий» стали догмами массового сознания, многие россияне приняли их без критики. Поэтому необходимо продемонстрировать, к чему они, эти лозунги, ведут. Впервые это было сделано в рамках исследований так называемого Римского клуба, объединяющего западных ученых и промышленников, еще в начале 1980-х гг.

Итак, что будет, если Россия откажется от защиты отечественных товаропроизводителей, снимет все таможенные барьеры и войдет в мировой рынок? Погибнут как неконкурентоспособные сельское хозяйство и большая часть промышленности. Выживут сырьевые отрасли и свалки для всего мира, а также организации по подготовке рабочей силы для работы за рубежом. Обучение будет проходить на английском языке. Россия как самостоятельная страна погибнет. Вывод из этой антиутопии — необходимость защиты отечественных товаропроизводителей, в том числе путем установления таможенных барьеров. При разработке стратегии развития России следует исходить из новой парадигмы экономической науки — солидарной информационной экономики [52–54].

Технологии экспертного прогнозирования, как и другие экспертные методы, необходимы широким кругам современных экономистов, управленцев (менеджеров), инженеров, специалистов практически всех отраслей народного хозяйства, самых разных направлений деятельности. Недаром они постоянно используются при рассмотрении вопросов организации и экономики производства [31, 46], как это подробно показано в работе [46].

Контрольные вопросы

1. Как с помощью экспертных оценок выявляют предпочтения потребителей в области технико-функциональных характеристик изделия (навигационного прибора)?
2. Какие экспертные технологии используются в системе «Шесть сигм»?
3. Расскажите об иерархических системах эстетических и эргономических показателей качества.
4. В чем причина появления грубых ошибок в государственных стандартах по статистическим методам управления качеством?
5. Расскажите о роли экспертных оценок в оценочной деятельности.
6. Почему необходимо опираться на мнения экспертов в инвестиционном менеджменте?
7. Как соотносятся статистические и экспертные методы прогнозирования?
8. Приведите примеры использования метода сценариев.

Темы докладов, рефератов, исследовательских работ

1. Экспертные технологии оценки эффективности рекламы.
2. Метод фокус-групп.
3. Использование экспертных технологий при разработке управленческих решений.
4. Перспективы применения системы «Шесть сигм» в России.
5. Система «Шесть сигм» как образец для организации внедрения контроллинга и современных математических методов исследования (на основе работ [7, 8]).
6. Использование экспертных технологий для управления качеством.
7. Иерархическая система показателей надежности (на основе монографии [16]).
8. Технический уровень и конкурентоспособность продукции.

9. Методы построения обобщенных показателей технического уровня и качества (проблема агрегирования).

10. Научно-организационное развитие в области статистических методов (1985–1990) — от «Рабочей группы по упорядочению системы стандартов по прикладной статистике и другим статистическим методам» до Всесоюзной статистической ассоциации.

11. Оценочная деятельность в России (с использованием портала «Вестник оценщика» http://www.appraiser.ru).

12. Соотношение экспертных и расчетных методов в инвестиционном менеджменте.

13. Система сценариев социально-экономического развития России (на основе работ [41, 42]).

14. Разработки Международной академии исследований будущего.

Литература

1. *Сэндидж, Ч.* Реклама: теория и практика / Ч. Сэндидж, В. Фрайбургер, К. Ротцолл. — Москва : Прогресс, 1989. — 630 с.

2. *Рыжикова, Т.Н.* Управление процессом маркетинга на предприятиях сферы услуг : учебное пособие / Т.Н. Рыжикова. — Москва : Радио и связь, 2001. — 190 с.

3 *Рыжикова, Т.Н* Банковский маркетинг : учебное пособие / Т.Н. Рыжикова. — Москва : Радио и связь, 2001. — 128 с.

4. *Голубков, Е.П.* Маркетинговые исследования: теория, практика и методология / Е.П. Голубков. — Москва : Финпресс, 1998. — 461 с.

5. Менеджмент / под редакцией Ж.В. Прокофьевой. — Москва : Знание, 2000. — 288 с.

6. *Панде, П.* Что такое «Шесть сигм»? Революционный метод управления качеством / П. Панде, Л. Холп. — Москва : Альпина Бизнес Букс, 2004. — 158 с.

7. *Фалько, С.Г.* «Шесть сигм» как подход к совершенствованию бизнеса / С.Г. Фалько, А.И. Орлов // Контроллинг. — 2004. — № 4 (12). — С. 42–46.

8. *Орлов, А.И.* «Шесть сигм» — новая система внедрения математических методов исследования / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 2006. — Т. 72. — № 5. — С. 50–53.

9. *Маркова, Е.В.* Математическая теория эксперимента: история, развитие, будущее / Е.В. Маркова, Е.П. Никитина // Заводская лаборатория. — 2002. — Т. 68. — № 1. — С. 112–118.

10. *Орлов, А.И.* Создана единая статистическая ассоциация / А.И. Орлов // Вестник Академии наук СССР. — 1991. — № 7. — С. 152–153.

11. *Орлов, А.И.* О современных проблемах внедрения прикладной статистики и других статистических методов / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1992. — Т. 58. — № 1. — С. 67–74.

12. *Орлов, А.И.* Информационные системы управления предприятием в решении задач контроллинга / А.И. Орлов, Е.А. Гуськова // Контроллинг. — 2003. — № 1(5). — С. 52–59.

13. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примак, С.Г. Фалько. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

14. Инженерная экономика : учебник / В.В. Кочетов, А.А. Колобов, И.Н. Омельченко ; под редакцией А.А. Колобова, А.И. Орлова. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 668 с.

15. РД 50-217-84. Методические указания по оценке научно-технического уровня стандартов на промышленную продукцию : разработаны и введены в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28 декабря 1984 г. № 4987 / В.Н. Фомин, М.И. Примаков, А.И. Орлов [и др.] ; разработаны Государственным комитетом СССР по стандартам. — Москва : Изд-во стандартов, 1985. — 37 с. (Отменен в 1988 г.)

16. *Фомин, В.Н.* Нормирование показателей надежности / В.Н. Фомин. — Москва : Изд-во стандартов, 1986. — 212 с.

17. *Антонов, Г.А.* Стандартизация и качество промышленной продукции : учебное пособие / Г.А. Антонов. — Ленинград : Издательство Ленинградского университета, 1979. — 144 с.

18. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука,1979. — 296 с.

19. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

20. *Орлов, А.И.* Допустимые средние в некоторых задачах экспертных оценок и агрегирования показателей качества / А.И. Орлов // Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. — Москва : Наука, 1974. — С. 388–393.

21. *Гнеденко, Б.В.* Математика и контроль качества продукции / Б.В. Гнеденко. — Москва : Знание, 1978. — 64 с.

22. *Кудлаев, Э.М.* Вероятностно-статистические методы исследования в работах А.Н. Колмогорова / Э.М. Кудлаев, А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 2003. — Т. 69. — № 5. — С. 55–61.

23. *Орлов, А.И.* Сертификация и статистические методы / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1997. — Т. 63. — № 3. — С. 55–62.

24. *Орлов, А.И.* Распространенная ошибка при использовании критериев Колмогорова и омега-квадрат / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1985. — Т. 51. — № 1. — С. 60–62.

25. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

26. Статистические методы повышения качества / под редакцией Х. Кумэ ; перевод с английского Л.А. Конарева, Ю.П. Адлер. — Москва : Финансы и статистика, 1990. — 301 с.

27. *Орлов, А.И.* Внедрение современных статистических методов с помощью персональных компьютеров / А.И. Орлов // Качество и надежность изделий. — № 5(21). — Москва : Знание, 1992. — С. 51–78.

28. *Орлов, А.И.* Всесоюзная статистическая ассоциация — гарантия успешного внедрения современных статистических методов / А.И. Орлов // Надежность и контроль качества. — 1991. — № 6. — С. 54–55.

29. *Орлов, А.И.* Термины и определения в области вероятностно-статистических методов / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1999. — Т. 65. — № 7. — С. 46–54.

30. *Сычева, Г.И.* Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / Г.И. Сычева, Е.Б. Колбачев, В.А. Сычев. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2003. — 384 с.

31. Экономика предприятия : учебник для вузов / И.Э. Берзинь, С.А. Пикунова, Н.Н. Савченко, С.Г. Фалько ; под редакцией С.Г. Фалько. — Москва : Дрофа, 2003. — 368 с.

32. *Смоляк, С.А.* Интерполяция функций нескольких нечисловых переменных / С.А. Смоляк // Заводская лаборатория. — 2007. — № 3. — С. 69–76.

33. *Гуськова, Е.А.* Разработка организационно-экономических методов повышения эффективности деятельности промышленного предприятия на основе эконометрического подхода : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Гуськова Екатерина Алексеевна ; МГТУ им. Н.Э. Баумана. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 16 с.

34. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

35. *Орлов, А.И.* Теория принятия решений : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 576 с.

36. *Орлов, А.И.* О методах сравнения инвестиционных проектов / А.И. Орлов, Д.Н. Алешин // Научные труды Рижского института мировой экономики. — Вып. 3. — Рига : РИМЭ, 1999. — С. 20–25.

37. *Алешин, Д.Н.* Экономическое обоснование эффективности инвестиционных проектов на предприятиях на основе применения эконометрического метода интервальной оценки : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Алешин Дмитрий Николаевич ; МГТУ им. Н.Э. Баумана. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. — 16 с.

38. *Орлов, А.И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные / А.И. Орлов. — Москва : Знание, 1980. — 64 с.

39. *Сидельников, Ю.В.* Технология экспертного прогнозирования : учебное пособие / Ю.В. Сидельников. — 2-е изд., испр. — Москва : Доброе слово, 2004. — 284 с.

40. *Сидельников, Ю.В.* Стратегические горизонты для России (внешнеполитические и военные аспекты — 2078 г.) : предварительная программа прогнозных исследований / Ю.В. Сидельников. — Москва : Институт экономических стратегий, 2005. — 72 с.

41. *Орлов, А.И.* Сценарии социально-экономического развития России до 2007 г. / А.И. Орлов // Обозреватель-Observer. — 1999. — № 10 (117). — С. 47–50.

42. *Орлов, А.И.* Сценарии социально-экономического развития России в XXI в. / А.И. Орлов // Обозреватель-Observer. — 2000. — № 10–11. — С. 82–82.

43. *Орлов, А.И.* Грядущая смута 2012 г. // Вестник Академии Прогнозирования (Исследований Будущего). — 2004. — № 12 ; Труды Академии прогнозирования. — 2004. — Выпуск 9. — С. 42–45.

44. *Самуэльсон, П.* Экономика. Т. 2 / П. Самуэльсон. — Москва : МГП «Алгон» : ВНИИСИ, 1992. — 415 с.

45. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент) : учебник / К.А. Гачева, М.К. Захарова, Л.А Одинцова [и др.] ; под редакцией Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. — Москва : Высшая школа, 2003. — 470 с.

46. *Орлов, А.И.* Эконометрика в обучении контроллеров / А.И. Орлов, Л.А. Орлова // Контроллинг. — 2004. — № 3 (11). — С. 68–73.

47. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование и искусственный интеллект в организации производства в эпоху цифровой экономики / А.И. Орлов // Инновации в менеджменте. — 2021. — № 2 (28). — С. 36–45.

48. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование и искусственный интеллект в цифровой экономике (на примере управления качеством) / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 169. — С. 216–242.

49. *Орлов, А.И.* Непараметрические критерии согласия Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат и ошибки при их применении / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 97. — С. 32–45.

50. *Лындина, М.И.* Методы прогнозирования для ракетно-космической промышленности / М.И. Лындина, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 103. — С. 196–221.

51. *Емельянова, Е.А.* Методы прогнозирования продаж на предприятиях оптовой торговли / Е.А. Емельянова, А.И. Орлов // Контроллинг. — 2018. — № 1 (67). — С. 68–76.

52. *Орлов, А.И.* О развитии солидарной информационной экономики / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 121. — С. 262–291.

53. *Орлов, А.И.* Солидарная информационная экономика как основа новой парадигмы экономической науки / А.И. Орлов, Ю.Б. Сажин // Инновации в менеджменте. — 2020. — № 26. — С. 52–59

54. *Орлов, А.И.* Развивающая идеи Аристотеля солидарная информационная экономика — основа новой парадигмы экономической науки / А.И. Орлов // Biocosmology — neo-Aristotelism. — 2020. — Vol. 10. — № 3–4. — С. 406–420.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Развитие теории экспертных оценок в России

В настоящее время не существует научно обоснованной общепринятой классификации методов экспертных оценок и тем более — однозначных рекомендаций по их применению. По нашему мнению, наиболее продвинутые результаты в рассматриваемой области были получены в результате работы неформального научного коллектива вокруг комиссии «Экспертные оценки» Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», организованной в 1970-х гг. Настоящий учебник подготовлен в рамках методологии, созданной этим научным коллективом.

Классические методы экспертных оценок. Как подробно показано в главе 1, экспертные оценки активно использовались с незапамятных времен. После Второй мировой войны в рамках мощного научного движения, на знаменах которого сверкали модные 50 лет назад термины «кибернетика», «исследование операций», «системный подход», выделилась самостоятельная научно-практическая дисциплина — экспертные оценки. Сложились методы сбора и анализа экспертных оценок, которые мы сейчас называем классическими. В 1960–1970-е гг. они были освоены в нашей стране, доработаны и успешно применены. И только потом, в 70-е гг., начались активные самостоятельные научные исследования, была сформирована полностью оригинальная отечественная научная школа в области экспертных оценок. Нашей стране принадлежит мировой приоритет в целом ряде направлений, о некоторых из которых речь пойдет ниже.

Вполне естественно, что сначала в нашей стране появились публикации о классических методах экспертных оценок (см., например, [1–3]). Речь идет, прежде всего, о простейших методах, не требующих развитого математического аппарата.

С одной стороны, такие публикации были полезны, позволив широким массам специалистов познакомиться с основными идеями экспертных оценок. До сих пор классические методы активно используются в практической работе и излагаются в учебной литературе, в том числе и в нашем учебнике.

С другой стороны, как обычно бывает во многих областях деятельности, первоначальные достаточно тривиальные соображения широко распространились, вошли в массовое сознание инженеров и управленцев (менеджеров) и стали тормозом на пути внедрения более новых продвинутых результатов в области экспертных оценок, описанных, например, в работах [4–9].

Вспомним слова великого физика Макса Планка, создателя квантовой теории света: «Новая научная идея редко внедряется путем постепенного убеждения и обращения противников, редко бывает, что Савл становится Павлом. В действительности дело происходит так, что оппоненты постепенно вымирают, а растущее поколение с самого начала осваивается с новой идеей». Необычность рассматриваемой ситуации в области экспертных оценок состоит в том, что новые научные идеи появились всего через несколько лет после широкого распространения в нашей стране классических методов экспертных оценок. Но — головы возможных пользователей были уже оккупированы тривиальностями. В результате многие превосходные с научной точки зрения и высокоэффективные в приложениях результаты отечественных исследователей остаются малоизвестными, хотя получены еще в 1970-е гг.

Центром исследований является всесоюзный (ныне всероссийский) научно-исследовательский семинар «Экспертные оценки и анализ данных». Он работает с 1973 г., сначала в МГУ им. М.В. Ломоносова, а затем в Институте проблем управления РАН. В разные годы им руководили Б.Г. Литвак, А.И. Орлов, Ю.Н. Тюрин, затем А.А. Дорофеюк, Ф.Т. Алескеров, Д.А. Новиков, Ю.В. Сидельников (в настоящее время все они — доктора наук, профессора). В работе семинара участвовали сотни исследователей.

Научные результаты мирового уровня. Участники неформального научного коллектива участников семинара обычно начинали с освоения современных зарубежных идей, переходя затем к самостоятельным исследованиям, приводящим, как правило, к новым научным результатам мирового значения. Рассмотрим несколько сюжетов.

Так, освоив проблематику теории измерений, участники семинара перешли к изучению инвариантных алгоритмов. Основной полученный результат мирового уровня — характеризация средних величин шкалами измерения. Другими словами, найдены необходимые и достаточные условия, выделяющие средние величины, результат сравнения которых инвариантен относительно допустимых преобразований в тех или иных шкалах (подробные формулировки даны в главе 3). Цикл теорем о средних величинах — наиболее важное достижение в теории измерений, полученное в нашей стране.

В теории нечеткости также был получен принципиально важный результат мирового уровня — найден способ сведения теории нечетких множеств к теории случайных множеств (см. разд. 8.4). Это — основное отечественное достижение в теории нечеткости.

Большое влияние на развитие исследований в области экспертных оценок оказали работы американского математика Джона Кемени, прежде всего книга [10]. В ней был предложен подход к аксиоматическому введению расстояний между нечисловыми ответами экспертов (на примере упорядочений) и дан метод нахождения итогового мнения комиссии экспертов как решения оптимизационной задачи. Участники семинара по примеру Кемени построили аксиоматику для введения расстояний между различными объектами нечисловой природы. В обзоре [11] сведены вместе результаты более чем 150 исследований. В честь Дж. Кемени расстояния между элементами различных пространств бинарных отношений сейчас называют расстояниями Кемени, а введенные на их основе средние в этих пространствах — медианами Кемени (см. разделы 6.3 и 6.4 соответственно).

Большое внимание уделялось различным вариантам парных и множественных сравнений. Если на Западе рассматривалась параметрическая теория (модели Льюса, Бредли — Терри, Терстоуна), то в нашей стране была построена не имеющая аналогов непараметрическая теория парных сравнений, причем в асимптотике растущей размерности (подробности — в главе 7).

Первые три из перечисленных научных результатов, по которым наша страна имеет приоритет на мировом уровне, получены в 1970-е гг., четвертый — в 1980-е.

Итоги первого этапа работы семинара. В 1970-е гг. было выпущено три сборника статей [12–14], содержащих научные труды участников семинара «Экспертные оценки и анализ данных». Эти сборники до сих пор являются актуальными, включенные в них работы содержат заметно более продвинутые научные результаты, чем публикации по «классическим методам экспертных оценок», поскольку последние опираются на идеи 1940–1960-х гг. Отметим, что прошедшие десятилетия позволили более четко выявить смысл разработанных тогда подходов. Например, с современной точки зрения «дискретный анализ экспертных оценок» и «статистические методы» представляют собой не разные виды математических задач анализа экспертных данных, а последовательные этапы анализа одних и тех же данных, соответственно, начальный и опирающийся на вероятностно-статистические модели.

Полученные результаты были обобщены в ряде монографий, написанных руководителями и участниками семинара [15–18], и прежде всего в неоднократно изданном программном докладе пяти наиболее активных и продуктивных исследователей [19–20]. К сожалению, этот принципиально важный доклад не был развернут в подробную монографию. Настоящий учебник лишь частично реализует сформулированный в [19–20] план развертывания современного представления об экспертных оценках.

«Доклад пяти» [19–20] — веха в развитии отечественных исследований в области экспертных оценок. Закончился период становления самостоятельной научно-прикладной дисциплины. К концу 1970-х гг. экспертные оценки получили и организационное оформление — в рамках комиссии «Экспертные оценки» Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика».

Восьмидесятые годы. Научные исследования развивались вглубь и вширь. Регулярно выпускались сборники статей [21–24], проводились всесоюзные конференции [25–26]. Разумеется, работы по экспертным оценкам публиковались не только в изданиях семинара, но и во многих иных. Укажем для примера на работы руководителей семинара А.А. Дорофеюка [27] и Ю.В. Сидельникова [28], на монографии по многомерному шкалированию экспертных и иных данных [29, 30]. Авторы «доклада пяти» защитили докторские (Б.Г. Литвак, А.И. Орлов, Ю.Н. Тюрин) и кандидатские (Г.А. Сатаров, Д.С. Шмерлинг) диссертации.

Были выполнены многочисленные прикладные работы. В частности, разработаны комплексы нормативно-методических документов по экспертным методам управления качеством продукции (ГОСТы, методические указания и др.) и по экспертизе научно-исследовательских работ в медицине и биологии (методические рекомендации по проведению экспертной оценки планируемых и законченных научных работ в области медицины и по подготовке и проведению конкурса проектов исследований и разработок в области физико-химической биологии и биотехнологии).

Исследования по экспертным оценкам шли в тесном контакте с работами в области прикладной статистики и других статистических методов [31, 32], многокритериальной оптимизации [33, 34], математических методов в социологии [35] и т.п. Отметим, что в литературе экспертные оценки иногда выступают под теми или иными «псевдонимами». Например, академик РАН Н.Н. Моисеев в своих выдающихся научно-публицистических книгах [7, 36, 37] использовал термин «неформальные процедуры».

Статистика нечисловых данных. Основным отечественным достижением последней четверти XX в. в области статистических методов анализа данных является создание статистики нечисловых данных (в других терминах, нечисловой статистики, статистики объектов нечисловой природы). Ныне статистика нечисловых данных — одна из четырех основных областей прикладной статистики, наряду со статистикой числовых величин, многомерным статистическим анализом и статистикой временных рядов [31, 32].

Для нас важно, что именно необходимость разработки адекватных методов анализа экспертных мнений стимулировала развитие статистики нечисловых данных. Не случайно основополагающая статья [38], излагающая программу построения новой области статистики, была опубликована в одном из первых сборников трудов семинара.

Кратко обсудим суть статистики нечисловых данных. Сначала напомним, что исходный объект в прикладной статистике — это выборка, т.е. совокупность независимых одинаково распределенных случайных элементов. Какова природа этих элементов? В классической математической статистике элементы выборки — это числа. В многомерном статистическом анализе — вектора. А в нечисловой статистике элементы выборки — это объекты нечисловой природы, которые нельзя складывать и умножать на числа. Другими словами, объекты нечисловой природы лежат в пространствах, не имеющих векторной структуры.

Примерами объектов нечисловой природы являются:

- значения качественных признаков, т.е. результаты кодировки объектов экспертизы с помощью заданного перечня категорий (градаций);
- упорядочения (ранжировки) экспертами образцов продукции (при оценке её технического уровня и конкурентоспособности)) или заявок на проведение научных работ (при проведении конкурсов на выделение грантов);
- классификации, т.е. разбиения объектов экспертизы на группы сходных между собой (кластеры);
- толерантности, т.е. бинарные отношения, описывающие сходство объектов между собой, например, сходства тематики научных работ, оцениваемого экспертами с целью рационального формирования экспертных советов внутри определенной области науки;
- результаты парных сравнений или контроля качества продукции по альтернативному признаку («годен» — «брак»), т.е. последовательности из 0 и 1;
- множества (обычные или нечеткие), например, зоны, пораженные коррозией, или перечни возможных причин аварии, составленные экспертами независимо друг от друга;
- слова, предложения, составленные из них тексты;
- вектора, координаты которых — совокупность значений разнотипных признаков, например, результат составления статистического отчета о научно-технической деятельности организации (так называемая форма № 1 — наука)

или анкета эксперта, в которой ответы на часть вопросов носят качественный характер, а на часть — количественный;

- ответы на вопросы экспертной, маркетинговой или социологической анкеты, часть из которых носит количественный характер (возможно, интервальный), часть сводится к выбору одной из нескольких подсказок, а часть представляет собой тексты и т.д.

Интервальные данные тоже можно рассматривать как пример объектов нечисловой природы, а именно, как частный случай нечетких множеств. А именно, если характеристическая функция нечеткого множества равна 1 на некотором интервале и равна 0 вне этого интервала, то задание нечеткого множества эквивалентно заданию интервала. Напомним, что *теория нечетких множеств в определенном смысле сводится к теории случайных множеств*. Цикл соответствующих теорем приведен в разд. 8.4 выше.

С 1970-х гг. в основном на основе запросов теории экспертных оценок (а также технических исследований, экономики, социологии и медицины) развивались конкретные направления статистики объектов нечисловой природы. Были установлены основные связи между конкретными видами таких объектов, разработаны для них базовые вероятностные модели. Итоги подведены в монографии [16], в предисловии к которой впервые появился термин «статистика объектов нечисловой природы».

Следующий этап (1980-е гг.) — выделение статистики нечисловых данных в качестве самостоятельной дисциплины, ядром которой являются методы статистического анализа данных произвольной природы. Для работ этого периода характерна сосредоточенность на внутренних проблемах нечисловой статистики. Основные результаты коллективного труда подведены в сборнике научных работ [39]. Он был подготовлен совместно подкомиссией «Статистика объектов нечисловой природы» комиссии «Экспертные оценки» Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» и Институтом социологических исследований АН СССР.

К 1990-м гг. статистика объектов нечисловой природы с теоретической точки зрения была достаточно хорошо развита, основные идеи, подходы и методы были разработаны и изучены математически, в частности, доказано достаточно много теорем. Однако она оставалась недостаточно апробированной на практике. И в 1990-е гг. наступило время перейти от математико-статистических исследований к применению полученных результатов на практике. К этому периоду относится публикация большой серии статей в рамках раздела «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория» (основного места публикации в СССР и РФ работ по прикладной статистике), посвященных теории и практике нечисловой статистики.

Следует отметить, что в статистике объектов нечисловой природы одна и та же математическая схема может с успехом применяться во многих областях, а потому ее лучше всего формулировать и изучать в наиболее общем виде, для объектов произвольной природы.

Основные идеи статистики объектов нечисловой природы. В чем принципиальная новизна нечисловой статистики? Для классической математической статистики характерна операция сложения. При расчете выборочных характеристик распределения (выборочное среднее арифметическое, выборочная дисперсия и др.), в регрессионном анализе и других областях этой научной дисциплины постоянно используются суммы. Математический аппарат — законы больших чисел, Центральная предельная теорема и другие теоремы — нацелены на изучение сумм. В нечисловой же статистике нельзя использовать операцию сложения, поскольку элементы выборки лежат в пространствах, где нет операции сложения. Методы обработки нечисловых данных основаны на принципиально ином математическом аппарате — на применении различных расстояний в пространствах объектов нечисловой природы.

Кратко рассмотрим несколько идей, развиваемых в статистике объектов нечисловой природы для данных, лежащих в пространствах произвольного вида. Они нацелены на решение классических задач описания данных, оценивания, проверки гипотез — но для неклассических данных, а потому неклассическими методами.

Первой обсудим проблему определения средних величин. В рамках теории измерений удается указать вид средних величин, соответствующих тем или иным шкалам измерения. В классической математической статистике средние величины вводят с помощью операций сложения (выборочное среднее арифметическое, математическое ожидание) или упорядочения (выборочная и теоретическая медианы). В пространствах произвольной природы средние значения нельзя определить с помощью операций сложения или упорядочения. Теоретические и эмпирические средние приходится вводить как решения экстремальных задач. Теоретическое среднее определяется как решение задачи минимизации математического ожидания (в классическом смысле) расстояния от случайного элемента со значениями в рассматриваемом пространстве до фиксированной точки этого пространства (минимизируется указанная функция от этой точки). Для эмпирического среднего математическое ожидание берется по эмпирическому распределению, т.е. берется сумма расстояний от некоторой точки до элементов выборки и затем минимизируется по этой точке. При этом как эмпирическое, так и теоретическое средние как решения экстремальных задач могут быть не единственными элементами рассматриваемого пространства, а являться некоторыми множествами таких элементов, которые могут оказаться и пустыми. Тем не менее удалось сформулировать и доказать законы больших чисел для средних величин, определенных указанным образом, т.е. установить сходимость (в специально определенном смысле) эмпирических средних к теоретическим.

Оказалось, что методы доказательства законов больших чисел допускают существенно более широкую область применения, чем та, для которой они были разработаны. А именно, удалось изучить асимптотику решений экстремальных статистических задач, к которым, как известно, сводится большинство постановок прикладной статистики. В частности, кроме законов больших чисел установлена и состоятельность оценок минимального контраста, в том числе оценок максимального правдоподобия и робастных оценок. К настоящему времени подобные оценки изучены также и в статистике интервальных данных.

В статистике в пространствах произвольной природы большую роль играют непараметрические оценки плотности, используемые, в частности, в различных алгоритмах регрессионного, дискриминантного, кластерного анализов. В нечисловой статистике предложен и изучен ряд типов непараметрических оценок плотности в пространствах произвольной природы, в том числе в дискретных пространствах. В частности, доказана их состоятельность, изучена скорость сходимости и установлен примечательный факт совпадения наилучшей скорости сходимости в произвольном пространстве с той, которая имеет быть в классической теории для числовых случайных величин. Выше в главе 11 разъяснена роль непараметрических оценок плотности при построении бинарных рейтингов.

Дискриминантный, кластерный, регрессионный анализы в пространствах произвольной природы основаны либо на параметрической теории — и тогда применяется подход, связанный с асимптотикой решения экстремальных статистических задач — либо на непараметрической теории — и тогда используются алгоритмы на основе непараметрических оценок плотности.

Для анализа нечисловых, в частности, экспертных данных весьма важны методы классификации. С другой стороны, наиболее естественно ставить и решать задачи классификации, основанные на использовании расстояний или показателей различия, в рамках статистики объектов нечисловой природы. Это касается как распознавания образов с учителем (другими словами, дискриминантного анализа), так и распознавания образов без учителя (т.е. кластерного анализа).

Для проверки гипотез могут быть использованы статистики интегрального типа, в частности, типа омега-квадрат. Любопытно, что предельная теория таких статистик, построенная первоначально в классической постановке, приобрела естественный (завершенный, изящный) вид именно для пространств произвольного вида, поскольку при этом удалось провести рассуждения, опираясь на базовые математические соотношения, а не на те частные (с общей точки зрения), что были связаны с конечномерным пространством.

Представляют практический интерес результаты, связанные с конкретными областями статистики объектов нечисловой природы, в частности, со статистикой нечетких множеств и со статистикой случайных множеств (напомним, что теория нечетких множеств в определенном смысле сводится к теории случайных множеств), с непараметрической теорией парных сравнений и бернуллиевских векторов (люсианов), с аксиоматическим введением метрик в конкретных пространствах объектов нечисловой природы, и с рядом других конкретных постановок. Применительно к экспертным оценкам важная роль конкретных методов статистики нечисловых данных продемонстрирована практически во всех главах настоящего учебника.

Современный этап развития экспертных оценок. С конца 1980-х гг. число научных работников в нашей стране уменьшилось в разы. На порядок сократилось количество участников научных семинаров и конференций. Однако отечественная научная школа в области экспертных оценок успела достичь стадии зрелости и устояла. Этому способствовала и востребованность экспертных технологий во многих областях человеческой деятельности. Слово «эксперт» стало модным.

Зрелость научной области проявилась, в частности, в том, что ведущие отечественные специалисты выпустили заметно большее число монографий, подводящих итоги исследования, чем в предыдущие десятилетия [40–49, 53, 54, 57]. Часто экспертные оценки рассматривались вместе с проблемами принятия решений [41–44]. Большое внимание уделялось проблеме выбора [45], в том числе в условиях многокритериальности [46]. Были проанализированы процедуры голосования в рамках комиссий экспертов [47].

Разделы, посвященные экспертным оценкам, включают в учебники по различным дисциплинам, в частности, по теории принятия решений [42–44], по эконометрике и прикладной статистике [31, 32]. Это свидетельствует о том, что теория и практика экспертных оценок вошла в «базовое ядро» знаний, которыми должны владеть инженеры, менеджеры, экономисты, специалисты в иных областях.

Поток новых идей, подходов, концепций, методологий, методов, конкретных постановок, моделей, теорем и алгоритмов в области экспертных оценок не только не иссякает, но год от году усиливается. Назовем некоторые из новшеств.

Теория организационных систем [48] и, прежде всего, теория активных систем [49], т.е. систем, элементы которых обладают собственными интересами и волей, позволяющей действовать независимо, нуждаются в развитии и применении современных методов экспертных оценок. Подходы теории активных систем особенно интересны для решения задач управления предприятиями и другими социально-экономическими структурами. Такой современный раздел менеджмента, как контроллинг [50, 51], немыслим без использования продвинутых методов экспертных оценок [52], реализованных на основе современных информационных технологий (см. разд. 2.5).

Принципиально важным является появление работ по экспертным технологиям [53, 54]. От разработки и изучения отдельных методов экспертных оценок осуществлен переход к разработке процедур, включающих все этапы технологического процесса сбора и анализа экспертной информации. Произошел качественный скачок — от отдельных инструментов интеллектуальной деятельности к целостным технологиям интеллектуальной деятельности. Аналогичный скачок осуществлен и в области статистических методов — появились высокие статистические технологии [31, 32, 55].

Из западных разработок наибольший интерес вызвал метод анализа иерархий Т. Саати [56]. От его недостатков удалось избавиться сотрудникам Института проблем управления им. В.А. Трапезникова. Они разработали метод векторной стратификации [57], согласно которому иерархическая структура показателей комплексного критерия формируется путем дихотомической конкретизации документированной формулировки цели.

Из недавно разработанных принципиально новых подходов укажем в качестве примера на метод согласования кластеризованных ранжировок, подробно разобранный в разд. 4.3. Он был впервые опубликован в 2000 г. [58]. А «турнирный» метод ранжирования вариантов (разд. 7.1) был впервые опубликован в 2005 г. Список легко продолжить. Мы ограничились здесь лишь наиболее заметными публикациями, в основном книжными.

Состояние и перспективы экспертных оценок неоднократно анализировались ведущими специалистами [59–61]. Отмечалось, что перед исследователя-ми — большое поле деятельности. Например, в [59] отмечалась актуальность разработки методов анализа интервальных экспертных оценок, в которых мнения экспертов выражены интервалами. Основой для разработки таких методов может послужить статистика интервальных данных, рассмотренная в [32, 44]. Однако теория интервальных экспертных оценок стоит лишь в начале своего пути, хотя ее перспективность очевидна.

Теории и практике сбора и анализа экспертных оценок посвящен наиболее известный в России учебник [62]. Различные аспекты развития теории экспертных оценок в России обсуждаются в статьях [63–65].

Исследования в рассматриваемой области бурно развиваются. Охватить все публикации нет возможности. Ограничимся теми, которые наиболее связаны с настоящим учебником.

Общим вопросам развития теории и практики экспертных оценок в нашей стране посвящены работы [63–67]. Проведение и анализ результатов экспертного опроса рассмотрено В.О. Толчеевым [68]. Проблемы определения весовых коэффициентов на основании экспертных оценок обсуждает Д.Б. Зотьев [69]. Способ уточнения экспертных оценок, выставленных в порядковых шкалах, с помощью измеряемых данных, предложен В.В. Стрижовым [70]. Методы анализа экспертных упорядочений предложены в работе [71]. Задача исследования итогового ранжирования мнений группы экспертов с помощью медианы Кемени рассмотрена в [72]. Алгоритмам расчета медианы Кемени посвящена статью М.С. Жукова [73]. Методы прогнозирования на основе экспертных оценок проанализированы в [74, 75]. Математическая теория рейтингов развивается в [76, 77].

Приведем несколько примеров применения экспертных оценок для решения практических задач. Практика применения метода экспертных оценок для оценки качества и технического уровня сложных систем рассмотрена в монографии С.С. Семенова [78]. При разработке автоматизированной системы прогнозирования и предотвращение авиационных происшествий экспертные технологии применялись для оценивания вероятностей редких событий [79]. Сопоставлению статистических и экспертных методов в задачах экономики и управления наукой посвящена работа [80]. Применение экспертных оценок в задачах оценки кредитных рисков, важных для работы банковской сферы — предмет статьи [81]. Использование экспертных оценок для научного обеспечения искусственного интеллекта и цифровой экономики освещена в [82, 83].

Многочисленные ссылки на научные публикации по теории и практики экспертных оценок, в том числе недавно вышедшие, приведены в списках литературных источников, приведенных в главах настоящей книги.

Литература

1. *Бешелев, С.Д.* Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. — Москва : Наука, 1973. — 79 с.

2. *Бешелев, С.Д.* Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Статистика, 1980. — 264 с.

3. *Райхман, Э.П.* Экспертные методы в оценке качества товаров / Э.П. Райхман, Г.Г. Азгальдов. — Москва : Экономика, 1974. — 151 с.

4. *Бурков, В.Н.* Большие системы: моделирование организационных механизмов / В.Н. Бурков. — Москва : Наука, 1989. — 354 с.

5. *Китаев, Н.Н.* Групповые экспертные оценки / Н.Н. Китаев. — Москва : Знание, 1975. — 64 с.

6. *Ларичев, О.И.* Объективные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев. — Москва : Наука, 1987. — 143 с.

7. *Моисеев, Н.Н.* Неформальные процедуры и автоматизация проектирования / Н.Н. Моисеев. — Москва : Знание, 1979. — 64 с.

8. *Моисеев, Н.Н.* Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. — Москва : Наука, 1981. — 487 с.

9. *Панкова, Л.А.* Организация экспертиз и анализ экспертной информации / Л.А. Панкова, А.М. Петровский, М.В. Шнейдерман. — Москва : Наука, 1984. — 120 с.

10. *Кемени, Дж.* Кибернетическое моделирование: некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл. — Москва : Советское радио, 1972. — 192 с.

11. *Раушенбах, Г.В.* Меры близости и сходства / Г.В. Раушенбах // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. — Москва : Наука, 1986. — С. 169–203.

12. Статистические методы анализа экспертных оценок : сборник статей. — Москва : Наука, 1977. — 384 с.

13. Экспертные оценки // Вопросы кибернетики. — Вып. 58. — Москва : Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1979. — 200 с.

14. Экспертные оценки в системных исследованиях : сборник трудов. — Вып. 4. — Москва : ВНИИСИ, 1979. — 120 с.

15. *Литвак, Б.Г.* Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. — Москва : Радио и связь, 1982. — 184 с.

16. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

17. *Орлов, А.И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные / А.И. Орлов. — Москва : Знание, 1980. — 64 с.

18. *Раушенбах, Г.В.* Экспертные оценки в медицине : научный обзор / Г.В. Раушенбах, О.В. Филиппов. — Москва : ВНИИММТИ Минздрава СССР, 1983. — 80 с.

19. Анализ нечисловой информации / Ю.Н. Тюрин, Б.Г. Литвак, А.И. Орлов [и др.]. — Москва : Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981. — 80 с.

20. Анализ нечисловой информации / Ю.Н. Тюрин, Б.Г. Литвак, А.И. Орлов [и др.] // Заводская лаборатория. — 1980. — Т. 46. — № 10. — С. 931–935 ; Современные проблемы кибернетики: прикладная статистика. — Москва : Знание, 1981. — С. 41–52.

21. Экспертные оценки в задачах управления : сборник трудов. — Москва : Институт проблем управления, 1982. — 106 с.

22. Анализ нечисловых данных в системных исследованиях : сборник трудов. — Вып. 10. — Москва : ВНИИСИ, 1982. — 155 с.

23. Методы анализа данных, оценивания и выбора : сборник трудов. — Вып. 11. — Москва : ВНИИСИ, 1984. — 92 с.

24. Методы анализа данных, оценивания и выбора в системных исследованиях : сборник трудов. — Вып. 14. — Москва : ВНИИСИ, 1986. — 124 с.

25. Первое Всесоюзное совещание по статистическому и дискретному анализу нечисловой информации, экспертным оценкам и дискретной оптимизации : тезисы докладов. — Москва : Алма-Ата : ВИНИТИ, 1981. — 439 с.

26. Вторая Всесоюзная конференция по анализу нечисловой информации : тезисы докладов. — Москва : Таллин : ВИНИТИ, 1984. — 348 с.

27. *Дорофеюк, А.А.* Методы автоматической классификации в задачах получения экспертной информации / А.А. Дорофеюк // Статистика. Вероятность. Экономика. — Москва : Наука, 1985. — С. 137–145.

28. *Сидельников, Ю.В.* Теория и организация экспертного прогнозирования / Ю.В. Сидельников. — Москва : ИМЭМО АН СССР, 1990. — 196 с.

29. *Терехина, А.Ю.* Анализ данных методами многомерного шкалирования / А.Ю. Терехина. — Москва : Наука, 1986. — 168 с.

30. *Перекрест, В.Т.* Нелинейный типологический анализ социально-экономической информации: Математические и вычислительные методы / В.Т. Перекрест. — Ленинград : Наука, 1983. — 176 с.

31. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Экзамен, 2004. — 576 с.

32. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

33. *Гафт, М.Г.* Принятие решений при многих критериях / М.Г. Гафт. — Москва : Знание, 1979. — 64 с.

34. *Подиновский, В.В.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. — Москва : Наука, 1982. — 256 с.

35. *Орлов, А.И.* Статистические методы в российской социологии (тридцать лет спустя) / А.И. Орлов // Социология: методология, методы, математические модели. — 2005. — № 20. — С. 32–53.

36. *Моисеев, Н.Н.* Математик задает вопросы... (Приглашение к диалогу) / Н.Н. Моисеев. — Москва : Знание, 1975. — 192 с.

37. *Моисеев, Н.Н.* Математика ставит эксперимент / Н.Н. Моисеев. — Москва : Наука, 1979. — 224 с.

38. *Орлов, А.И.* Статистика объектов нечисловой природы и экспертные оценки / А.И. Орлов // Вопросы кибернетики. — Вып. 58. — Москва : Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1979. — С. 17–33.

39. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях : сборник статей / ответственный редактор В.Г. Андреенков. — Москва : Наука, 1985. — 221 с.

40. *Ларичев, О.И.* Выявление экспертных знаний / О.И. Ларичев. — Москва : Наука, 1989. — 128 с.

41. *Ларичев, О.И.* Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. — Москва : Наука, 1996. — 208 с.

42. *Литвак, Б.Г.* Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. — Москва : Патент, 1996. — 272 с.

43. *Орлов, А.И.* Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ; 2005. — 496 с.

44. *Орлов, А.И.* Теория принятия решений / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 576 с.

45. *Айзерман, М.А.* Выбор вариантов (основы теории) / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. — Москва : Наука, 1990. — 326 с.

46. *Ногин, В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. — Москва : Физматлит, 2002. — 176 с.

47. *Вольский, В.И.* Голосование в малых группах. Процедуры и методы сравнительного анализа / В.И. Вольский, З.М. Лезина. — Москва : Наука, 1991. — 192 с.

48. *Новиков, Д.А.* Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. — Москва : МПСИ, 2005. — 584 с.

49. *Бурков, В.Н.* Теория активных систем: состояние и перспективы / В.Н. Бурков. — Москва : Синтег, 1999. — 128 с.

50. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примак, С.Г. Фалько. — Москва : Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

51. *Хан, Д.* Планирование и контроль: концепция контроллинга / Д. Хан ; под редакцией А.А. Турчака. — Москва : Финансы и статистика, 1997. — 800 с.

52. *Орлов, А.И.* Эконометрическая поддержка контроллинга / А.И. Орлов // Контроллинг. — 2002. — № 1. — С. 42–53.

53. *Литвак, Б.Г.* Экспертные технологии управления / Б.Г. Литвак. — 2-е изд. — Москва : Дело, 2004. — 398 с.

54. *Сидельников, Ю.В.* Технология экспертного прогнозирования : учебное пособие / Ю.В. Сидельников. — 2-е изд., испр. — Москва : Доброе слово, 2004. — 284 с.

55. *Орлов, А.И.* Высокие статистические технологии / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 2003. — Т. 69. — № 11. — С. 55–60.

56. *Саати, Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — Москва : Радио и связь, 1993. — 320 с.

57. *Анохин, А.М.* Комплексное оценивание и оптимизация на моделях многомерных объектов / А.М. Анохин, В.Б. Гусев, В.В. Павельев. — Москва : ИПУ РАН, 2003. — 79 с.

58. *Горский, В.Г.* Метод согласования кластеризованных ранжировок / В.Г. Горский, А.А. Гриценко, А.И. Орлов // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 3. — С. 179–187.

59. *Орлов, А.И.* Экспертные оценки / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1996. — Т. 62. — № 1. — С. 54–60.

60. *Литвак, Б.Г.* Экспертиза в России / Б.Г. Литвак // Заводская лаборатория. — 2000. — Т. 66. — № 7. — С. 61–66.

61. *Дорофеюк, А.А.* Экспертные методы анализа и совершенствования систем управления / А.А. Дорофеюк, И.В. Покровская, А.Л. Чернявский // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 10. — С. 172–188.

62. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 ч. Ч. 2. Экспертные оценки / А.И. Орлов. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 486 с.

63. *Орлов, А.И.* Теория экспертных оценок в нашей стране / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 93. — С. 1652–1683.

64. *Орлов, А.И.* Новая парадигма анализа статистических и экспертных данных в задачах экономики и управления / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 98. — С. 105–125.

65. *Орлов, А.И.* О развитии теории принятия решений и экспертных оценок / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 167. — С. 177–198.

66. *Орлов, А.И.* О развитии экспертных технологий в нашей стране / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2010. — № 11. — С. 64–70.

67. *Новиков, Д.А.* Экспертные оценки — инструменты аналитика / Д.А. Новиков, А.И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2013. — № 4. — С. 3–4.

68. *Толчеев, В.О.* Проведение и анализ результатов экспертного опроса / В.О. Толчеев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2019. — Т. 85. — № 7. — С. 73–82.

69. *Зотьев, Д.Б.* К проблеме определения весовых коэффициентов на основании экспертных оценок / Д.Б. Зотьев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2011. — № 1. — С. 75–78.

70. *Стрижов, В.В.* Уточнение экспертных оценок, выставленных в ранговых шкалах, с помощью измеряемых данных / В.В. Стрижов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2011. — № 7. — С. 72–78.

71. *Орлов, А.И.* Анализ экспертных упорядочений / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 112. — С. 21–51.

72. *Жуков, М.С.* Задача исследования итогового ранжирования мнений группы экспертов с помощью медианы Кемени / М.С. Жуков, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 122. — С. 785–806.

73. *Жуков, М.С.* Об алгоритмах расчета медианы Кемени / М.С. Жуков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2017. — Т. 83. — № 7. — С. 72–78.

74. *Муравьева, В.С.* Организационно-экономические проблемы прогнозирования на промышленном предприятии / В.С. Муравьева // Управление большими системами : сборник трудов. — 2007. — № 17. — С. 143–158.

75. *Лындина, М.И.* Методы прогнозирования для ракетно-космической промышленности / М.И. Лындина, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 103. — С. 196–221.

76. *Лындина, М.И.* Математическая теория рейтингов / М.И. Лындина, А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 114. — С. 1–26.

77. *Подиновский, В.В.* Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский. — Москва : Наука, 2019. — 103 с.

78. *Семенов, С.С.* Оценка качества и технического уровня сложных систем: практика применения метода экспертных оценок / С.С. Семенов. — Москва : ЛЕНАНД, 2015. — 352 с.

79. *Орлов, А.И.* Экспертные технологии и их применение при оценивании вероятностей редких событий / А.И. Орлов, Ю.Г. Савинов, А.Ю. Богданов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2014. — Т. 80. — № 3. — С. 63–69.

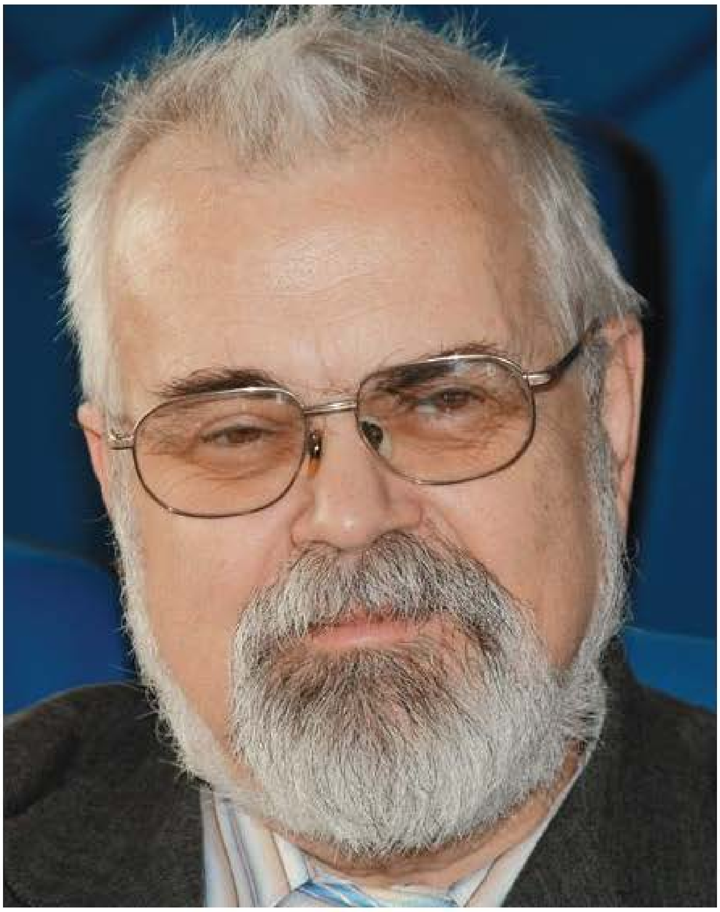
80. *Орлов, А.И.* Статистические и экспертные методы в задачах экономики и управления наукой / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 166. — С. 1–35.

81. *Жуков, М.С.* Экспертные оценки в рисках / М.С. Жуков, А.И. Орлов, С.Г. Фалько // Контроллинг. — 2017. — № 4 (66). — С. 24–27.

82. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование и искусственный интеллект в организации производства в эпоху цифровой экономики / А.И. Орлов // Инновации в менеджменте. — 2021. — № 2 (28). — С. 36–45.

83. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование и искусственный интеллект в цифровой экономике (на примере управления качеством) / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 169. — С. 216–242.

ОБ АВТОРЕ



Орлов Александр Иванович (1949 г.р.) — профессор (1995 г. — по кафедре математической экономики), доктор экономических наук (2009 г. — по математическим и инструментальным методам экономики), доктор технических наук (1992 г. — по применению математических методов), кандидат физико-математических наук (1976 г. — по теории вероятностей и математической статистике).

Профессор кафедр «Экономика и организация производства» (факультет «Инженерный бизнес и менеджмент») и «Вычислительная математика и математическая физика» (факультет «Фундаментальные науки») 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.

Член редколлегий журналов «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», «Контроллинг», «Инновации в менеджменте», «Социология: методология, методы, математическое моделирование», «Управление большими системами: сборник трудов». Главный редактор электронного еженедельника «Эконометрика».

Академик Международной академии исследований будущего, Российской Академии статистических методов. Вице-президент Всесоюзной Статистической Ассоциации, президент Российской ассоциации статистических методов.

Основные направления научной и педагогической деятельности: теория принятия решений, прикладная статистика и другие статистические методы, эконометрика, экономико-математические методы, экспертные оценки, менеджмент, экономика предприятия, макроэкономика, экология.

Автор более 1 100 научных и методических публикаций в России и за рубежом, в том числе более 50 книг. Один из наиболее цитируемых математиков и экономистов России.

Более подробная информация приведена на сайте «Википедия», в статье «Орлов, Александр Иванович (ученый)».

Основные публикации профессора А. И. Орлова

1. *Орлов, А.И.* Устойчивость в социально-экономических моделях / А.И. Орлов. — Москва : Наука, 1979. — 296 с.

2. *Орлов, А.И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные / А.И. Орлов. — Москва : Знание, 1980. — 64 с.

3. Анализ нечисловой информации (препринт) / А.И. Орлов, Ю.Н. Тюрин, Б.Г. Литвак [и др.]. — Москва : Научный Совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981. — 80 с.

4. *Гусев, В.А.* Внеклассная работа по математике в 6–8 классах / В. А. Гусев, А.И. Орлов, А.Л. Розенталь. — Москва : Просвещение, 1977. — 288 с.

5. *Гусев, В.А.* Внеклассная работа по математике в 6–8 классах / В.А. Гусев, А.И. Орлов, А.Л. Розенталь. — 2-е изд., перераб. — Москва : Просвещение, 1984. — 286 с.

6. *Орлов, А.И.* Пакет программ анализа данных «ППАНД» : учебное пособие / А.И. Орлов, И.Л. Легостаевая, О.М. Черномордик. — Москва : Сотрудничающий центр Всемирной организации здравоохранения по профессиональной гигиене, 1990. — 93 с.

7. *Орлов, А.И.* Математическое моделирование процессов налогообложения (подходы к проблеме) / А.И. Орлов, В.Г. Кольцов, Н.Ю. Иванова. — Москва : Изд-во ЦЭО Министерства общего и профессионального образования РФ, 1997. — 232 с.

8. *Орлов, А.И.* Экология : учебное пособие / А.И. Орлов, С.А. Боголюбов. — Москва : Знание, 1999. — 288 с.

9. *Орлов, А.И.* Менеджмент : учебное пособие / А.И. Орлов, С.А. Боголюбов, Ж.В. Прокофьева. — Москва : Знание, 2000. — 288 с.

10. *Орлов, А.И.* Управление качеством окружающей среды : учебник / А.И. Орлов, С.А. Боголюбов. — Т. 1. — Москва : Изд-во МГИЭМ(ту), 2000. — 283 с.

11. *Орлов, А.И.* Системы экологического управления : учебник / А.И. Орлов, С.А. Боголюбов. — Москва : Европейский центр по качеству, 2002. — 224 с.

12. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2002. — 576 с.

13. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник / А.И. Орлов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Экзамен, 2003. — 575 с.

14. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник / А.И. Орлов. — 3-е изд. — Москва : Экзамен, 2004. — 573 с.

15. Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев, В.Г. Ларионов, А.Ф. Козьяков. — Москва : Изд-во УРАО, 2002. — 220 с.

16. Управление промышленной и экологической безопасностью : учебное пособие / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев, В. Г. Ларионов, А.Ф. Козьяков. — 2-е изд. — Москва : Изд-во УРАО, 2003. — 220 с.

17. *Орлов, А.И.* Менеджмент в техносфере : учебное пособие / А.И. Орлов, В.Н. Федосеев. — Москва : Академия, 2003. — 384 с.

18. *Орлов, А.И.* Теория и методы разработки управленческих решений : учебное пособие / А.И. Орлов. — Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2005. — 496 с.

19. *Орлов, А.И.* Прикладная статистика : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 672 с.

20. *Орлов, А.И.* Теория принятия решений : учебник / А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2006. — 576 с.

21. Проектирование интегрированных производственно-корпоративных структур: эффективность, организация, управление / А.И. Орлов, С.Н. Анисимов,

А.А. Колобов [и др.] ; под редакцией А.А. Колобова, А.И. Орлова. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 728 с.

22. *Колобов, А.А.* Менеджмент высоких технологий. Интегрированные производственно-корпоративные структуры: организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость / А.А. Колобов, И.Н. Омельченко, А.И. Орлов. — Москва : Экзамен, 2008. — 621 с.

23. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 частях. Ч. 1. Нечисловая статистика / А.И. Орлов. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 542 с.

24. *Орлов, А.И.* Эконометрика : учебник для вузов / А.И. Орлов. — 4-е изд., доп. и перераб. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. — 572 с.

25. *Орлов, А.И.* Менеджмент: организационно-экономическое моделирование : учебное пособие для вузов / А.И. Орлов. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. — 475 с.

26. *Орлов, А.И.* Вероятность и прикладная статистика: основные факты : справочник / А.И. Орлов. — Москва : КноРус, 2010. — 192 с.

27. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений : учебник / А.И. Орлов. — Москва : КноРус, 2011. — 568 с.

28. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 частях. Ч. 2. Экспертные оценки / А.И. Орлов. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 486 с.

29. *Орлов, А.И.* Устойчивые экономико-математические методы и модели. Разработка и развитие устойчивых экономико-математических методов и моделей для модернизации управления предприятиями / А.И. Орлов. — Саарбрюккен : Lambert Academic Publishing, 2011. — 436 с.

30. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 частях. Ч. 3. Статистические методы анализа данных / А.И. Орлов. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 624 с.

31. *Орлов, А.И.* Проблемы управления экологической безопасностью. Итоги двадцати лет научных исследований и преподавания / А.И. Орлов. — Саарбрюккен : Palmarium Academic Publishing, 2012. — 344 с.

32. *Орлов, А.И.* Системная нечеткая интервальная математика : монография / А.И. Орлов, Е.В. Луценко. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2014. — 600 с.

33. *Орлов, А.И.* Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга : монография / А.И. Орлов, Е.В. Луценко, В.И. Лойко ; под научной редакцией профессора С.Г. Фалько. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2015. — 600 с.

34. *Орлов, А.И.* Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента : монография / А.И. Орлов, Е.В. Луценко, В.И. Лойко ; под общей редакцией С.Г. Фалько. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2016. — 600 с.

35. *Лойко, В.И.* Современные подходы в наукометрии : монография / В.И. Лойко, Е.В. Луценко, А.И. Орлов ; под научной редакцией профессора С.Г. Фалько. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2017. — 532 с.

36. *Орлов, А.И.* Методы принятия управленческих решений : учебник / А.И. Орлов. — Москва : КНОРУС, 2018. — 286 с.

37. *Лойко, В.И.* Современная цифровая экономика / В.И. Лойко, Е.В. Луценко, А.И. Орлов. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2018. — 508 с.

38. *Лойко, В.И.* Высокие статистические технологии и системно-когнитивное моделирование в экологии : монография / В.И. Лойко, Е.В. Луценко, А.И. Орлов. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2019. — 258 с.

39. *Агаларов, З.С.* Эконометрика : учебник / З.С. Агаларов, А.И. Орлов. — Москва : Дашков и К°, 2021. — 380 с.