

А. И. ОРЛОВ

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ:
НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ
НА ОСНОВЕ НОВОЙ ПАРАДИГМЫ**
МОНОГРАФИЯ



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ•МОСКВА•КРАСНОДАР
2026

УДК 519.2:330.4
ББК 22.18:65.05я73

О 66 Орлов А. И. Математические методы исследования:
научная революция на основе новой парадигмы : монография / А. И. Орлов. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 208 с. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-507-54761-6

Рассмотрены базовые положения научной революции в математических методах исследования. Её ядром являются системная нечёткая интервальная математика и статистика нечисловых данных, а инструментом — компьютерные технологии. Проанализирована смена парадигм в ходе развития математико-статистических методов в нашей стране. С позиций отечественной научной школы в области математических методов исследования рассмотрены вопросы преподавания. Подведён итог более чем полувековой работе автора в области математических методов исследования.

Для сотрудников научно-исследовательских организаций и заводских лабораторий, преподавателей, аспирантов и студентов, заинтересованных в применении современных математических методов исследования, связанных с анализом статистических данных, результатов измерений, наблюдений, испытаний, анализов, опытов, обследований.

УДК 519.2:330.4
ББК 22.18:65.05я73

Рецензенты:

Е. В. ЛУЦЕНКО — доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных технологий и систем Кубанского государственного аграрного университета им. И. Т. Трубилина;
С. Г. ФАЛЬКО — доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой экономики и организации производства Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2026
© А. И. Орлов, 2026
© Издательство «Лань», художественное оформление, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	6
Введение. Математические методы исследования: научная революция на основе новой парадигмы	12
ЧАСТЬ I. Развитие математико-статистических методов.....	25
Глава 1. Основные этапы становления статистических методов.....	27
1.1. Моисей — первый статистик	27
1.2. Развитие представлений о статистике	29
1.3. Краткая история статистических методов	33
1.4. Параметрическая статистика	34
1.5. Наукометрия статистических исследований	35
1.6. Непараметрическая статистика.....	37
1.7. Появление прикладной статистики	38
1.8. Что даёт прикладная статистика народному хозяйству?.....	41
1.9. Статистические методы в России	43
Глава 2. Непараметрическая и прикладная статистика в нашей стране.....	46
2.1. О работах Н. В. Смирнова.....	46
2.2. О Л. Н. Большевe.....	49
2.3. В. В. Налимов как организатор науки.....	50
2.4. Дискуссия о прикладной статистике	53
2.5. Попытки объединения отечественных статистиков	62
Глава 3. Состояние и перспективы развития прикладной и теоретической статистики	64
3.1. Послевоенное развитие отечественной статистики	65
3.2. Новые идеи последних десятилетий: точки роста	68
3.3. Статистика объектов нечисловой природы	70
3.4. Основные идеи статистики объектов нечисловой природы	72
3.5. О некоторых нерешённых проблемах теоретической и прикладной статистики	74
3.6. Состояние статистической науки в нашей стране	79

ЧАСТЬ II. Новая парадигма математических методов исследования.....	81
Глава 4. О высоких статистических технологиях	83
4.1. Статистические технологии	84
4.2. Проблема «стыковки» алгоритмов	86
4.3. Термин «высокие статистические технологии»	87
4.4. Всегда ли нужны «высокие статистические технологии»?	88
4.5. Основная проблема в области статистических технологий	91
4.6. Необходимость высоких статистических технологий	93
4.7. Институт высоких статистических технологий и эконометрики	94
4.8. О подготовке специалистов по высоким статистическим технологиям	96
Глава 5. О новой парадигме математических методов исследования.....	98
5.1. Краткая формулировка новой парадигмы	100
5.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики	102
5.3. Основные понятия	103
5.4. Интеллектуальные инструменты в новой парадигме	105
5.5. Сравнение старой и новой парадигм	106
5.6. Системная нечёткая интервальная математика	110
5.7. Научно-учебная литература, подготовленная в соответствии с новой парадигмой	115
ЧАСТЬ III. Четвёртая научная революция в математике и проблемы распространения нового знания.....	121
Глава 6. Научная революция в математических методах исследования.....	123
6.1. Кратко об основных идеях	123
6.2. Системная нечёткая интервальная математика и статистика нечисловых данных — ядро научной революции в математических методах исследования	125
6.3. Компьютерные технологии — инструмент научной революции	126
6.4. Смена парадигм в развитии статистических методов	127
6.5. Исследования по философии математики	130

6.6. Научные революции в математике.....	131
6.7. Контроллинг математических методов исследования.....	136
Глава 7. Высокие статистические технологии —	
из науки в преподавание	144
7.1. О развитии статистических исследований и преподавания статистики.....	145
7.2. Преподавание в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования.....	148
7.3. Содержание современного курса «Статистика»	154
7.4. Отечественная научная школа в области математических методов исследования.....	164
Заключение	166
Литература	168
Об авторе	195

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автором настоящей монографии выполнено много отдельных работ, которые следует отнести к современному этапу развития математических методов исследования. Однако (с точки зрения читателей этих наших работ) они не были представлены как части единой системы, оставались не прояснёнными глубинные взаимосвязи рассматриваемых постановок. Исправлению этого недостатка посвящена настоящая книга. Проведена необходимая увязка отдельных работ в систему.

Рассмотрены базовые положения научной революции в математических методах исследования на основе новой парадигмы в этой области. Подробное изложение конкретных вопросов проведено в ранее опубликованных работах и не воспроизводится здесь. Отсюда два следствия — обширный список литературных источников, в том числе публикаций автора, и практически полное отсутствие математических формул — в отличие от работ, посвящённых отдельным научным результатам.

Для восприятия настоящей работы важно, что согласно Российскому индексу научного цитирования (РИНЦ) вклад в науку её автора (измеряемый по числу цитирований) в 6,03 раза больше, чем у действующего президента Российской академии наук. Автор — самый цитируемый исследователь МГТУ им. Н. Э. Баумана, один из самых цитируемых математиков и экономистов России. На 23.10.2025 в РИНЦ указаны 743 публикации и 19 993 цитирования, индекс Хирша — 52. Поэтому автор имеет моральное право и необходимые компетенции для выявления новой парадигмы математических методов исследования и происходящей при переходе к новой парадигме научной революции в этой области.

Монография предназначена для тех, кто разрабатывает, применяет и преподаёт математические методы исследования. Она представляет интерес для преподавателей, специалистов, аспирантов и студентов, заинтересованных в применении современных математических методов исследования, в частности, в экономике и управлении. Издание также будет полезно для широкого круга читателей, желающих познакомиться с современными идеями в этой области, самостоятельно повышающих квалификацию, прежде всего, для сотрудников прикладных научно-исследовательских организаций и подразделений, связанных с анализом статистических данных, ре-

зультатов измерений, наблюдений, испытаний, анализов, опытов, исследований.

Конкретные вопросы математических методов исследования рассмотрены в сотнях статей автора данной монографии (см. РИНЦ) и в нескольких десятках книг (см. Приложение «Об авторе»). Предлагаемая читателям монография посвящена «сердцевине» моих работ, базовой составляющей подхода к исследованиям, которая обычно остаётся «за кадром» публикаций, касающихся тех или иных частных вопросов.

В настоящей монографии подведён итог более чем полувекового профессионального пути в области математических методов исследования. Естественно, опираемся на опыт 1970-х гг. и дальнейшие работы, хотя новая парадигма в рассматриваемой области науки была выдвинута в 2011 г., а о революции мы стали говорить с 2024 г. (т. е. осознание сути сделанного шага в развитии математики пришло не сразу).

Основная часть монографии состоит из семи глав, объединённых в три части. Для удобства читателей данной монографии при необходимости возвращаемся к обсуждению содержания предыдущих разделов.

В первой части дан авторский взгляд на развитие математико-статистических методов. В главе 1 рассмотрены основные этапы становления статистических методов. Непараметрическая и прикладная статистика в нашей стране — предмет главы 2. Глава 3 посвящена состоянию и перспективам развития прикладной и теоретической статистики. Выделены «точки роста» последних десятилетий. Представлены основные идеи статистики нечисловых данных. Перечислен ряд нерешённых к настоящему времени проблем теоретической и прикладной статистики. Дана оценка состояния статистической науки в нашей стране.

Предмет второй части — новая парадигма математических методов исследования. В главе 4 обоснована необходимость разработки и применения высоких статистических технологий. Рассказано о деятельности Института высоких статистических технологий и эконометрики, о подготовке специалистов в этой области. Непосредственно о новой парадигме математических методов исследования идёт речь в главе 5. Рассмотрены интеллектуальные инструменты в новой парадигме, проведено сравнение старой и новой парадигм. Даётся представление о системной нечёткой интервальной математике, созданной в соответствии с новой парадигмой. Рассказано о научно-

учебной литературе, многочисленных учебниках, подготовленных в соответствии с новой парадигмой.

Третья часть посвящена четвёртой научной революции в математике и проблемам распространения нового знания. В главе 6 проанализированы основные идеи научной революции в математических методах исследования. Ядром этой революции являются системная нечёткая интервальная математика и статистика нечисловых данных, а инструментом — компьютерные технологии. Обсуждается смена парадигм в развитии статистических методов. На основе исследований по философии математики проанализированы научные революции в этой области. Обоснована необходимость разработки и применения подходов контроллинга математических методов исследования. В главе 7 рассмотрен путь высоких статистических технологий из науки в преподавание. Выявлены основные проблемы развития статистических исследований и преподавания статистики. Обсуждается преподавание математических методов исследования в соответствии с новой парадигмой. Как пример рассмотрено содержание современного курса «Статистика». Рассказано об отечественной научной школе в области математических методов исследования.

К рассматриваемым темам возвращаемся неоднократно, рассматривая их с разных сторон. Автор стремился к тому, чтобы данную монографию можно было сравнить с плодоносящим деревом, на ветках которого висят плоды — научные результаты. Но только ссылки на них, а не полное изложение — оно потребовало бы множества томов.

По тематике монографии имеется огромное количество литературы. По каждому затронутому вопросу — масса статей и книг. Чтобы настоящая работа имела разумный объём, я решил отказаться от обзора имеющихся публикаций и, как правило, не разбирать подробно мнения других авторов. Цель монографии — по возможности кратко изложить базовые положения новой парадигмы математических методов исследования и указать на основные черты нового этапа развития этой области, проявившиеся в результате научной революции. Для достижения этой цели понадобилось обсудить развитие статистических методов в нашей стране.

С целью обеспечения для читателя возможности адекватного восприятия содержания данной монографии в Приложении приведена развёрнутая информация об авторе. Полезно отметить имеющийся опыт преподавания таких дисциплин, как «Организационно-экономическое моделирование», «Прикладная статистика», «Эконометрика», «Разработка и принятие управленческих решений» и др.

В своё время автор настоящей работы привёл в систему основные положения таких научных направлений, как эконометрика, прикладная статистика, теория принятия решений. Монографии по этим направлениям названы учебниками, поскольку такое наименование облегчало издание. Они процитированы в сотнях и тысячах научных публикаций, авторы которых, тем самым, рассматривают их как научные издания (см., например, РИНЦ и Google Академию). Но одновременно эти монографии действительно стали основами соответствующих учебных курсов в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана и других вузах. В настоящей работе мы с точки зрения результатов научной революции на основе новой парадигмы приводим в систему основные положения математических методов исследования.

Математические методы исследования — название раздела в научном журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». По ряду исторических причин этот раздел — основное место публикации работ отечественных исследователей по этой тематике. С 1980 г. в нём издано более 100 работ автора данной монографии. Большое значение для становления новой парадигмы математических методов исследования имел Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», его секция «Планирование эксперимента» и комиссия «Экспертные оценки». Основные идеи научной революции в математических методах исследования на основе новой парадигмы появились в ходе развития научно-общественного движения второй половины 1980-х гг., нацеленного на объединение специалистов по статистическим методам. Наиболее заметные вехи в ходе этого развития — создание Всесоюзного центра статистических методов и информатики (1989) и Всесоюзной статистической ассоциации (1990). В результате развала Советского Союза эти организации прекратили свою деятельность. Научно-общественное движение сошло на нет в обстановке 1990-х гг. С начала XXI в. основные наши усилия были сосредоточены на подготовке книг и статей. Результаты первого этапа такой работы представлены на сайте «Высокие статистические технологии» (<https://orlovs.pp.ru/>), созданном в 2004 г. А. А. Орловым. Дальнейшие публикации отражены в сводке [246]. Отметим роль «Научного журнала КубГАУ», в котором на октябрь 2025 г. опубликовано 168 статей автора данной монографии.

Краткость изложения частично компенсируется ссылками на источники, среди которых указаны, прежде всего, статьи и книги автора, содержащие развёрнутое изложение затрагиваемых в монографии вопросов. В квадратных скобках указываем номер источника в разделе

ле «Литература». Комментарии к списку наших научных и методических трудов [246] могут быть полезны в связи с большим числом процитированных в данной монографии публикаций. Актуальный каталог трудов с возможностью гарантированной загрузки имеется на интернет-ресурсе <https://orlovs.pp.ru/work/index.php>. Полный список работ, включая ссылки на последние издания учебников, размещён на форуме нашего сайта, в первом посте темы <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=3059>, ссылки на электронные тексты (в свободном доступе) — во втором посте той же темы.

С базовыми публикациями автора данной монографии (более 20 книг и 200 статей) можно познакомиться на сайте «Высокие статистические технологии» <http://orlovs.pp.ru>. Текущая информация по тематике данной монографии размещается на его форуме <https://orlovs.pp.ru/forum/>. Для читателей может представить интерес страница Научно-исследовательской лаборатории «Экономико-математические методы в контроллинге» МГТУ им. Н. Э. Баумана <http://www.ibm.bmstu.ru/nil/lab.html>. Она размещена на сайте научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. На сайте кафедры «Экономика и организация производства» МГТУ им. Н. Э. Баумана <https://ibm2.ru/> размещён ряд наших работ. Достаточно большой объём информации содержит еженедельник «Эконометрика» <http://subscribe.ru/catalog/science.humanity.econometrika>. Он является электронной газетой нашей кафедры и выпускается с июля 2000 г.

Большинство включённых в книгу научных результатов получены в результате исследований на кафедре «Экономика и организация производства» научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Автор искренне благодарен коллегам по кафедре, а также пользуется возможностью выразить признательность за совместную работу своим 240 соавторам по различным публикациям, прежде всего сотрудникам Института высоких статистических технологий и эконометрики и Научно-исследовательской лаборатории «Экономико-математические методы в контроллинге» МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Автор благодарен рецензентам — доктору экономических наук, кандидату технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Экономика и организация производства» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана С. Г. Фалько и профессору, доктору экономических наук, кандидату технических наук, профессору кафедры компьютерных технологий и систем Ку-

банского государственного аграрного университета им. И. Т. Трубилина Е. В. Луценко.

Спасибо сотрудникам издательства за большую работу по подготовке рукописи монографии к изданию.

Автор искренне благодарен разработчику сайтов и редактору электронного еженедельника, коллеге по кафедре «Экономика и организация производства» А. А. Орлову за многолетний энтузиазм. Условия для написания книги создала моя любимая жена Л. А. Орлова. Спасибо!

Автор будет благодарен читателям, если они направят свои вопросы и замечания по адресу издательства или непосредственно автору по электронной почте E-mail: prof-orlov@mail.ru (или поместят их на форуме <https://orlovs.pp.ru/forum/> сайта «Высокие статистические технологии»).

*Профессор А. И. Орлов
23 октября 2025 г.*

Введение

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ: НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ НА ОСНОВЕ НОВОЙ ПАРАДИГМЫ

Математические (включая статистические и экспертные) методы исследования — интеллектуальные инструменты для применения в различных областях. Эти методы — основная область профессиональной деятельности автора настоящей монографии (см., например, [226–228, 246]). На них можно взглянуть с двух точек зрения — прикладников, применяющих такие методы, и теоретиков, их разрабатывающих.

Прикладники обычно считают, что совокупность нужных им математических методов давно разработана, всё необходимое для практического применения изложено в учебниках и справочниках, для проведения расчётов достаточно распространённых программных продуктов, а теоретики занимаются отдельными мелкими улучшениями, и вникать в их работы прикладникам нет необходимости, нецелесообразно, поскольку времени всегда не хватает.

Теоретики знают, что за последние десятилетия в области математических методов исследования произошла принципиально важная научная революция. В её ходе создана новая методология, разработаны модели и методы, резко отличающиеся от прежних. Усилиями этой категории исследователей научная революция осуществлена и развивается. Весьма важно добиться широкого использования новых методов, пока ещё мало известных прикладникам.

В настоящее время между воззрениями прикладников и теоретиков в области математических методов исследований наблюдаем значительное различие. Для его уменьшения необходимо разъяснить научному сообществу существо обсуждаемой в данной монографии научной революции.

В хорошо знакомых прикладникам учебникам и справочникам середины XX в. в качестве статистических данных рассматривались числовые величины. А именно, действительные числа, конечномерные векторы (т. е. конечные последовательности чисел), функции с числовыми значениями (временные ряды, случайные процессы). Термин «числовые» означает, что элементы выборки можно склады-

вать и умножать на число, т. е. эти элементы лежат в некотором линейном пространстве.

В результате научной революции конца XX — начала XXI в. произошёл отказ от предположения линейности. В качестве выборочных данных стали рассматривать элементы пространств произвольной природы (а не только линейных пространств). Центром математических методов исследования стала статистика нечисловых данных. Внутри неё надо выделить область статистических методов в пространствах произвольной природы, которая включает научные результаты в наиболее общих формулировках, и области, посвящённые анализу нечисловых данных конкретных видов. При таком анализе используются как результаты статистики в пространствах произвольной природы, так и специфические методы, предназначенные для нечисловых данных конкретных видов.

Вторая принципиально важная черта научной революции — обобщение классических типов чисел путём явного учёта размытости (нечёткости, расплывчатости) реальных статистических данных. Для всех видов измерений их результаты имеют погрешности, однако классические статистические методы почти не учитывают наличие погрешностей. Для преодоления этого недостатка разработана статистика интервальных данных, в которых элементы выборки — не числа, а интервалы. Учёт погрешностей измерений может быть проведён и путём перехода к анализу нечётких данных, например, треугольных нечётких чисел, как это продемонстрировано в [235] на примере аддитивно-мультипликативной модели оценки рисков.

Отметим два революционных момента. Первый — переход от прежних математических чисел к прагматическим числам, т. е. к числам, используемым при практических расчётах. Их характерной чертой является нечёткость (размытость, расплывчатость). В прикладной статистике речь идёт, прежде всего, о переходе к статистике интервальных данных [226]. Второй момент связан с тем, что распределения реальных данных, как правило, нельзя считать нормальными (гауссовскими). Как следствие, необходимо развивать и использовать непараметрические методы статистики [228].

Начало научной революции в области математических методов исследования относится к 1980-м гг. В ходе создания Всесоюзной статистической ассоциации [116] профессиональным сообществом был проведён тщательный анализ состояния и перспектив развития рассматриваемой научной области. Эта работа проводилась в рамках отечественной научной школы в области теории вероятностей и ма-

тематической статистики, созданной академиком А. Н. Колмогоровым. История дальнейшего развития отечественной научной школы в области организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики (как части школы А. Н. Колмогорова) отражена в [217].

Основные идеи научной революции сформулированы в новой парадигме математических методов исследования (см., например, краткую редакционную статью [188] и подробное изложение в соответствующей главе ниже). Их реализации посвящён новый раздел теоретической и прикладной математики — системная нечёткая интервальная математика [231, 254, 255], которую мы рассматриваем как основу математики XXI в.

В соответствии с новой парадигмой выпущено довольно много книг и статей. Полные тексты многих из них можно найти, например с помощью Российского индекса научного цитирования. Так, среди таких статей — основная часть публикаций раздела «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» (в этом разделе выпущено более 100 статей автора настоящей монографии).

Однако наблюдается значительное отставание научного уровня основной массы работ по статистическому анализу конкретных данных от достигнутого на переднем крае фронта современных научных исследований. Причины и последствия такого отставания целесообразно обсудить.

В настоящее время активно используются три парадигмы математических методов исследования — примитивная, устаревшая и современная (новая). Примитивная основана на рецептах XIX в. Разнообразные таблицы Росстата выполнены в рамках этой парадигмы. Необходимо признать, что во многих случаях непосредственный анализ табличных статистических данных позволяет получить нужные исследователю научные и практические выводы.

В начале XX в. возникла необходимость в более углублённом анализе статистических данных, в частности, в области биометрии. В ответ на запросы практики возникла классическая математическая статистика. Её основоположник К. Пирсон предложил для описания реальных данных использовать функцию распределения из введённого им четырёхпараметрического семейства (в настоящее время обычно используют подсемейства с меньшим числом параметров — нормальных распределений, экспоненциальных, логарифмически-нормальных, гамма-распределений, распределений Вейбулла — Гне-

денко и др.). Это предложение Пирсона имело как положительные, так и отрицательные последствия.

Использование параметрических семейств распределений вероятностей позволило к середине XX в. разработать развитую математическую теорию, предназначенную для оценивания параметров и проверки гипотез. Её обычно называют параметрической статистикой (в соответствии с базовым предположением, лежащим в её основе). Эту теорию, как правило, излагают в вузовских курсах по теории вероятностей и математической статистике, и её основы обычно знакомы исследователям в прикладных областях. Отметим, что развитие отдельных аспектов этой теории продолжается и в настоящее время. Так, сравнительно недавно установлено, что вместо оценок максимального правдоподобия для оценивания параметров целесообразно использовать одношаговые оценки [194], а также получены новые результаты в области оценивания параметров гамма-распределений [248] и бета-распределений [237].

Однако давно выяснено, что базовое предположение параметрической статистики обычно не выполняется. В качестве примера обсудим часто принимаемую без достаточных оснований гипотезу о том, что рассматриваемые статистические данные получены в соответствии с нормальным законом распределения. По крайней мере с середины XX в. (в частности, с работ основателя раздела «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» профессора В. В. Налимова) известно, что распределения реальных данных, как правило, не являются нормальными (современные обоснования этого принципиального утверждения приведены в учебнике [225]). Следовательно, научные результаты параметрической являются чисто математическими (относятся к математике как науке о формальных системах), они не позволяют получать обоснованные выводы для реальных явлений и процессов. В соответствии с новой парадигмой следует использовать методы непараметрической статистики, которые к настоящему времени позволяют решать тот же круг задач, что и методы параметрической статистики.

Переход от устаревшей парадигмы к современной требует усилий от исследователей, занимающихся конкретными прикладными задачами. Необходимо изучить непараметрические модели и методы, соответствующее им теоретическое обоснование, перейти на новое программное обеспечение или разработать его. Приходится менять алгоритмы расчётов, нормативно-техническую документацию, а пре-

подавателям — содержание читаемых курсов и соответствующую учебно-методическую литературу. Естественно, возникает сопротивление, как всегда при переходе от старого к новому.

Обсудим типовые возражения приверженцев устаревшей парадигмы.

Предлагают проверить нормальность распределения элементов выборки с помощью того или иного статистического критерия — Шапиро — Уилка, типа Колмогорова, типа омега-квадрат, на основе выборочных оценок асимметрии и эксцесса и др. Если гипотеза нормальности не отклоняется, то считают возможным использовать методы, основанные на нормальности.

Почему это рассуждение не является корректным? Дело в том, что для тех же данных можно проверить их соответствие другим распределениям. И для типовых объемов выборки (десятки или сотни наблюдений) ответ будет положительным. Другими словами, столь же обоснованно принять не только нормальность, но и многие другие распределения. Известно, что для достоверного (на уровне значимости 0,05) обнаружения различия между нормальным и логистическим распределениями необходима выборка объемом не менее 2500 (см., например, [225]).

Отклонения от нормальности могут сильно влиять на свойства статистических процедур, разработанных в предположении нормальности. В результате полученные на их основе выводы могут не иметь ничего общего с действительностью. Примером являются процедуры отбраковки выбросов, нацеленных на обнаружение в выборке резко выделяющихся ошибочных значений. При отклонении от нормальности свойства методов отбраковки крайне сильно меняются [225].

В пользу параметрической статистики приводят, например, такое рассуждение: «в задачах управления безопасностью требуется подтверждение сверхмалых рисков порядка одной миллионной — десяти миллиардных единицы (вероятность 0,999999–0,9999999). Уже для подтверждения вероятности 0,999999 непараметрическим методом требуется более двух миллионов статистических испытаний, что много даже при моделировании средствами современной вычислительной техники. Применение параметрического подхода позволяет снизить этот объем на порядок». Это рассуждение принципиально неверно. Выводы на основе необоснованной вероятностно-статистической модели сами являются необоснованными [239]. В известной притче сказано так: «Человек потерял ключи в кустах. Где их искать?

Под фонарём. Почему под фонарём? Потому что там светлее». Параметрическую статистику можно сравнить с поиском потерянных в кустах ключей под фонарём.

Не всегда исследователи осознают и признают сам факт научной революции. У некоторых из них возникает желание объявить порождающие её новые научные результаты малозначительными, находящимися на периферии математических методов исследования, а потому не требующими осмысления, не заслуживающими внимания, изучения и применения. Одна из причин этого явления — включение психологической защиты против нового, требующего решительного пересмотра привычных старых подходов. Важно также влияние углубления в отдельные узкие проблемы, связанные с частными постановками задач, отсутствие широкого кругозора, а также желания и возможности проанализировать динамику развития математических методов исследования. Такому анализу мешает, в том числе, и громадный объём накопленных к настоящему времени научных публикаций в рассматриваемой области. По нашей оценке, к математическим методам исследования относятся миллионы статей и книг. Именно понимание рассматриваемых причин обсуждаемого разрыва между прикладниками и теоретиками послужило одним из побудительных стимулов к написанию данной монографии.

Хочется призвать читателей к осознанию произошедшей революции в математических методах исследования, к овладению её результатами. Подчеркнём, что ссылки на незнание, например, непараметрической статистики не могут оправдать применение устаревших неадекватных методов, образно говоря, поиска потерянных в кустах ключей под фонарём, где светлее.

При управлении наукой необходимо учитывать, что за последние десятилетия в области математических методов исследования произошла принципиально важная научная революция.

По словам одного из лидеров историко-эволюционистского направления в философии науки Т. Куна: «Научные революции — это некумулятивные эпизоды развития науки, во время которых старая парадигма замещается целиком или частично новой парадигмой, несовместимой со старой» [57, с. 129]. Понятие «научная революция» широко обсуждается специалистами в различных областях, прежде всего философами (см., например, [308]). Хорошо известны революции в физике (первая — при переходе от Аристотеля к Ньютону, вторая — XX в., порождённая созданием квантовой механики, ядерной физики и теории относительности). Революция в биологии обуслов-

лена появлением генетики, революция в исторической науке — созданием новой статистической хронологии.

В этом ряду — и революция в математических и статистических методах исследования [245, 249, 250], основанная на новой парадигме в этой научно-практической области. В более ранних публикациях мы использовали термин «новая парадигма», но не термин «научная революция». Как пишет Т. Кун (см. выше), понятия, соответствующие этим терминам, неразрывно связаны. На примере прикладной математической статистики сравнение по 17 основным характеристикам старой и новой систем идей, взглядов и понятий (т. е. старой и новой парадигм) проведено нами в 2012–2013 гг. в статьях [149, 159]. Развёрнутому обсуждению новой парадигмы математических методов исследования посвящена одноименная глава ниже.

Мы не раз обращались к обсуждению новой (т. е. современной) парадигмы математических и статистических методов исследования, в частности, в [188] и [224]. Ей предшествовали две парадигмы, которые мы в [243] обозначили как примитивная и устаревшая. Раскроем эти понятия.

Первая из парадигм (примитивная) соответствует описательной стадии развития статистической науки, на которой использовались те или иные отдельные эвристические методы анализа данных. Например, построение таблиц, расчёт выборочного среднего арифметического, метод наименьших квадратов.

Первая научная революция в математических и статистических методах исследования — это появление в начале XX в. теории математической статистики, которая к середине этого века была в основном разработана. Соответствующая ей парадигма отражена, в частности, в учебниках по теории вероятностей и математической статистике, по которым и в настоящее время учатся студенты различных специальностей. Эту парадигму мы считаем устаревшей.

На смену ей (в ходе второй научной революции в математических и статистических методах исследования) пришла новая (современная) парадигма, основы которой были выявлены в научно-общественном движении 1980-х гг., приведшем, в частности, к созданию Всесоюзной статистической ассоциации. Это движение было заторможено в 1990-х гг. из-за проблем, порождённых развалом Советского Союза. Возрождение наступило уже в XXI в. Появилось большое число монографий, учебников, научных статей, подготовленных в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования.

Надо отметить, что в развитии математики как обширной научной области (включающей математические методы исследования, но не сводящейся к ним) выделяют ряд научных революций. Первая — при переходе от эмпирических формул Древнего Египта к появлению математики как науки. В Древней Греции появились теоремы, доказательства, аксиомы (постулаты), прежде всего в геометрии. Вторая революция — создание дифференциального и интегрального исчисления, введение в математику понятия движения. Третья — переход на язык теории множеств, аксиоматические теории (по Гильберту и Гёделю), переход к рассмотрению математики как науки о формальных системах, в частности, отделение математики от естествознания. Сейчас происходит четвёртая революция, в нашем изложении соответствующая второй научной революции в математических и статистических методах исследования. Мы используем термин «примитивная парадигма» для описания работ XIX в. и более раннего времени, поскольку с позиций сегодняшнего дня такие работы относятся к «предыстории». Такое решение можно критиковать. Дискуссии о научных революциях продолжаются (см., например, [319]).

Новая парадигма математических методов исследования раскрыта в системной нечёткой интервальной математике. Развитию этой новой научной области посвящены монографии [253, 254]. Мы рассматриваем её как основу математики XXI в. Констатируем, что она служит базой для разработки современного инструментария математических методов исследования. Системной нечёткой интервальной математике посвящена одноименная глава ниже.

Как уже отмечалось, при обсуждении научной революции в математических и статистических методах исследования выше и в статье [243] внимание было сосредоточено на двух революционных моментах. Первый — переход от прежних математических чисел к прагматическим числам, характерной чертой которых является нечёткость (размытость, расплывчатость) [242]. В прикладной статистике это, прежде всего, переход к статистике интервальных данных [187]. Второй момент связан с тем, что распределения реальных данных, как правило, нельзя считать нормальными (гауссовскими). Как следствие, необходимо развивать и использовать непараметрические методы статистики.

Необходимо рассмотреть ещё целый ряд моментов.

В ходе научной революции центральной областью прикладной статистики стала статистика нечисловых данных [218]. Этот термин

имеет синонимы: статистика объектов нечисловой природы, нечисловая статистика. В этой области математики элементы выборки лежат в нелинейных пространствах, их нельзя складывать и умножать на число. В инструментарии классических разделов математических методов исследования — в статистике чисел, векторов (в многомерном статистическом анализе), функций (в статистике случайных процессов и временных рядов) — центральное место занимали суммы и функции от сумм случайных элементов, лежащих в линейных пространствах. В статистике нечисловых данных подобных сумм нет, инструментарий основан на использовании расстояний и задач оптимизации.

В XXI в. основная часть публикаций по прикладной статистике в журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» посвящена статистике нечисловых данных [204]. К этой области относится, в частности, современная теория измерений. Статистические методы анализа данных являются адекватными только тогда, когда полученные с их помощью выводы инвариантны относительно допустимых преобразований шкал, в которых измерены анализируемые данные. Основные шкалы — это шкалы наименований, порядковые, интервалов, отношений, разностей. Они позволяют выделить области соответствующих им методов анализа статистических данных [132].

В ходе революции в математических методах исследования резко возросла роль компьютерной техники, информационно-коммуникационных технологий, искусственного интеллекта [205]. Если в рамках устаревшей парадигмы они использовались в основном лишь для расчётов значений показателей и таблиц функций распределения статистических критериев, то в настоящее время стали одним из основных инструментов исследователя [202, 203].

Мощным инструментом разработчиков методов в области прикладной статистики являются предельные теоремы теории вероятностей — закон больших чисел, центральная предельная теорема и т. п. Ориентированные на математику специалисты иногда призывают только ими и ограничиваться. Однако для практического использования статистических методов предельных теорем недостаточно. Необходимо найти границу — выяснить, начиная с какого объёма выборки можно пользоваться результатами, полученными с помощью предельных теорем. И выяснить, как принимать решения, если объём имеющихся данных меньше этой границы.

Теоретические оценки скорости сходимости обычно значительно преувеличивают такие границы. В соответствии с новой парадиг-

мой исследователю доступна универсальная «отмычка» — метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), другими словами, имитационное моделирование. Он основан на использовании последовательности псевдослучайных чисел, свойства которых напоминают свойства рассматриваемых в теории вероятностей случайных величин. Основная идея состоит в последовательном выполнении следующих этапов: разработка вероятностно-статистической модели реального явления или процесса; планирование статистического испытания, в котором случайные величины заменяются псевдослучайными, полученными с помощью того или иного датчика; проведение большого числа испытаний (тысяч или миллионов); анализ полученных результатов расчётов.

Предельные теоремы — только необходимый первый шаг. Под «малой выборкой» понимают такую выборку, для которой нельзя применять выводы, основанные на предельных теоремах. В каждой конкретной задаче возникает необходимость разделить конечные объёмы выборки на два класса — те, для которых можно применять предельные теоремы, и те, для которых делать это нельзя из-за риска получения неверных выводов. Во втором случае необходимо вычислять распределения статистик при конкретных объёмах выборок. Вычислять с помощью программных продуктов, поскольку традиционное использование таблиц в принципе невозможно из-за того, что они имели бы непрактично большой объём.

В устаревшей парадигме исследователь задаёт уровень значимости (вероятность того, что нулевая гипотеза будет отвергнута, в то время как на самом деле она верна). Затем он находит из таблиц соответствующее критическое значение, которое сравнивает со значением статистики критерия, на основе чего и принимает решение о принятии или отклонении нулевой гипотезы. Поскольку распределения ранговых статистик дискретны, то обычно невозможно выдержать заданное значение уровня значимости [215]. Современный подход предполагает переход от уровня значимости к достигаемому уровню значимости, т. е. к наименьшей величине уровня значимости, при которой нулевая гипотеза отвергается для данного значения статистики критерия. В перспективе программные продукты позволят находить достигаемый уровень значимости для любых наблюдаемых выборок.

Современная парадигма предполагает значительную роль методологии при разработке и применении математических методов исследования [184, 216]. На её основе сформированы основные требо-

вания к статистическим методам анализа данных, позволяющие обеспечить построение адекватных вероятностно-статистических моделей реальных явлений и процессов, а затем обосновать выбор методов анализа данных [239]. Например, требование использовать непараметрические методы статистики вместо параметрических (в частности, основанных на непроверяемом предположении о нормальности распределений результатов измерений) — это типичное методологическое требование.

Особенностью современного этапа развития математических методов исследования является сосуществование работ, выполненных в рамках всех рассматриваемых парадигм — примитивной, устаревшей и современной. Как уже отмечалось, публикации Федеральной службы государственной статистики (Росстата) выполнены в большинстве согласно примитивной парадигме. Они содержат в основном таблицы, диаграммы и графики, как и работы XIX в. Однако необходимо констатировать, что непосредственный анализ статистических данных в ряде случаев позволяет получить полезные для практики выводы.

Устаревшая парадигма была господствующей в статистической теории первой половины XX в. Сначала математическая статистика (созданная как наука в начале XX в.) занималась проблемами оценивания и проверки гипотез применительно к постановкам, в которых предполагалось, что распределения элементов выборок принадлежат тому или иному параметрическому семейству. Как уже отмечалось, к середине XX в. параметрическая статистика была в основном разработана. Однако некоторые важные теоретические результаты были получены гораздо позже, вплоть до современности. Примеры были приведены выше. В настоящее время значительная часть прикладных работ исходит из устаревшей парадигмы параметрической статистики.

На переднем крае математико-статистической науки находятся исследования по непараметрической и нечисловой статистике, исходящие из современной парадигмы. Как и следовало ожидать, отнюдь не все научные проблемы уже решены к настоящему времени. Например, неизвестен аналог Центральной предельной теоремы в случае нечисловых данных общей природы (в отличие от Закона больших чисел). Необходима дальнейшая разработка моделей и методов статистического анализа данных в случае совпадений некоторых элементов выборок при применении непараметрических ранговых статистик [206]. Обратим внимание на нерешённые задачи,

включённые в «цахкадзорскую тетрадь» [127] (название объясняется тем, что первоначальный список нерешённых задач был составлен участниками конференции по статистическим методам в армянском посёлке Цахкадзор).

По нашему мнению, наиболее важной задачей на современном этапе является широкое распространение информации о революции в математических методах исследования и полученных в соответствии с ней научных результатах на основе современной парадигмы. Как теоретики, так и прикладники должны, как минимум, знать эту информацию, как максимум, применять новые результаты в своей работе. Необходима борьба с пережитками прошлого. Вместе с тем надо видеть место полученных в ходе революции результатов среди суждений, исходящих из многообразия новых терминов. Так, взаимосвязь искусственного интеллекта, нейросетей, больших данных и математических методов исследования обсуждается в [236].

Важна дальнейшая разработка требований к статистическим методам анализа данных [239], обеспечивающих их соответствие современной парадигме. При этом необходимо избежать ошибок, порождённых низкой квалификацией отдельных лиц, готовящих те или иные нормативные документы. С подобной ситуацией мы сталкивались при анализе государственных и международных стандартов по статистическим методам управления качеством в 1980-х гг. Как было установлено Рабочей группой из 66 специалистов (15 докторов и 45 кандидатов наук), несколько десятков из рассмотренных стандартов содержали грубые ошибки и в итоге были отменены. Об этой истории рассказано в журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» [123] и во многих наших учебниках. Совершенно бесспорно, что в исследовательской и практической работе опираться надо на научные результаты, а не на ошибочные материалы, пусть даже они называются ГОСТами (тем более, что в современных условиях любые ГОСТы не являются обязательными). Сомнительные ГОСТы и аналогичные материалы должны быть проанализированы и при обнаружении ошибок отменены. К сожалению, анализ подобных текстов требует больших затрат времени квалифицированных специалистов. Из-за отсутствия соответствующей организационной структуры и необходимых ресурсов такой анализ в отношении ряда нормативно-технических документов ещё не проведён, и подобные материалы, к сожалению, действуют.

Необходимы изменения в преподавании учебных курсов, посвящённых математическим методам исследования, с целью обеспе-

чения их соответствия новой парадигме. Ряд нужных для этого учебников уже выпущен в 2003–2024 гг. (в частности, см. приложение «Об авторе» в данной монографии).

Очевидно, необходимы серьёзные организационные усилия для реализации намеченной выше программы. Опыт работы раздела «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», кратко рассмотренный выше, позволяет уверенно прогнозировать дальнейшее успешное развитие революции в этой области. Задачи научной революции будут выполнены.

Во введении кратко сформулированы основные идеи данной монографии. Их более подробному развитию посвящены дальнейшие главы.

ЧАСТЬ I
РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИКО-
СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Для обоснования основных идей монографии нужен фундамент, система фактов. В качестве исходной информации мы в части 1 обсуждаем проблемы развития математико-статистических методов. В главе 1 рассмотрены основные этапы становления статистических методов (от книги «Числа» Ветхого Завета до наших дней). Особое внимание уделено исследованиям по непараметрической и прикладной статистике в нашей стране (глава 2). Подробно обсуждается состояние и перспективы развития прикладной и теоретической статистики (глава 3). Таким образом, в главах 1–3 представлена история статистической науки, её современное состояние и спрогнозировано будущее этой важной области научного и прикладного знания.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Начинаем с обсуждения первой широко известной статистической публикации — Четвёртой книги Моисеевой «Числа» в Ветхом Завете. Затем прослеживаем развитие представлений о статистике до XX в. Современный этап статистических методов начался с параметрической статистики Пирсона, Стьюдента, Фишера. Наукометрия статистических исследований даёт представление об объёме накопленных научных результатов. Непараметрическая статистика вышла на первый план в 1930-х гг., прикладная статистика как самостоятельная научная область сформировалась в нашей стране на рубеже 1970–1980 гг. В настоящей главе кратко обсуждаем, что даёт прикладная статистика народному хозяйству (в связи с нападками представителей официальной статистики). В главе 1 кратко рассказываем об истории статистических методов в России (до работ А. Н. Колмогорова).

Статистические методы широко и успешно применяются практически во всех отраслях народного хозяйства, почти во всех областях научных исследований. Литература по статистическим методам необозрима — на русском языке сотни тысяч книг и статей. Однако есть пробел — практически нет адекватных работ по истории статистических методов. Вслед за своим учителем академиком АН УССР Б. В. Гнеденко автор настоящей монографии полагает, что научный работник и тем более преподаватель должен знать историю своей дисциплины, чтобы понимать настоящее её состояние и быть способным прогнозировать дальнейшее развитие, а затем опираться на эти прогнозы в своей научной и преподавательской деятельности. Поэтому представляется необходимой публикация ряда материалов, посвящённых истории статистики, развитию прикладной математической статистики и других статистических методов.

1.1. Моисей — первый статистик

Самая ранняя из широко известных статистических работ входит в Библию. В Ветхий Завет включена Четвёртая книга Моисеева под названием «Числа». Глава 1 этой книги посвящена переписи во-

еннообязанных. Она начинается так (цитируем по синодальному изданию Библии на русском языке):

«1. И сказал Господь Моисею в пустыне Синайской, в скинии собрания, в первый день второго месяца, во второй год по выходе их из земли Египетской, говоря:

2. Исчислите всё общество сынов Израилевых по родам их, по семействам их, по числу имён, всех мужеского пола поголовно.

3. От двадцати лет и выше, всех годных для войны у Израиля, по ополчениям их исчислите их — ты и Аарон.

4. С вами должны быть из каждого колена по одному человеку, который в роде своём есть главный.

21. Исчислено в колене Рувимовом сорок шесть тысяч пятьсот.

23. Исчислено в колене Симеоновом пятьдесят девять тысяч триста.

46. И было всех вошедших в исчисление шестьсот три тысячи пятьсот пятьдесят».

Практическая направленность этого статистического исследования вполне очевидна. Обратите внимание, что оно предпринято по решению руководства страны (в библейских терминах — «общества сынов Израилевых»), причём к работам привлечены региональные начальники (главные по коленам, на которые делилось государство). Чётко указана совокупность, подлежащая переписи — мужчины от 20 лет и старше, годные для войны (военнообязанные).

Древность исследования проявляется только в том, что стандартные описания результатов учёта военнообязанных по коленам выражены словами. Сейчас мы представили бы результаты в виде таблицы (табл. 1). Таблицы такого типа постоянно составляют органы государственной статистики и в настоящее время (см. портал <https://rosstat.gov.ru/> Федеральной службы государственной статистики РФ (краткое название — Росстат)).

Итак, при сравнении с деятельностью Росстата описанное в Библии исследование, выполненное под руководством Моисея, является вполне современным по своим задачам и методам.

Статистические работы проводились в древности во многих странах, но информация о них доступна лишь узким специалистам, в то время как тираж Библии составляет около 6 млрд экземпляров (по заслуживающим доверия оценкам), и этот литературный источ-

ник доступен всем желающим. Именно поэтому начинаем обсуждение развития статистики с книги Чисел.

Таблица 1

Число всех годных для войны у Израиля

№ п/п	Родоначальник колена	Число военнообязанных
1	Рувим	46 500
2	Симеон	59 300
3	Гад	45 650
4	Иуда	74 600
5	Иссахар	54 400
6	Завулон	57 400
7	Ефрем	40 500
8	Манассия	32 200
9	Вениамин	35 400
10	Дан	62 700
11	Асир	41 500
12	Неффалим	53 400
	Всего	603 550

1.2. Развитие представлений о статистике

В нашей стране наиболее авторитетным научным центром в области статистики была созданная академиком АН СССР А. Н. Колмогоровым Межфакультетская лаборатория статистических методов Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. В выпущенной сотрудниками этой лаборатории работе [94] приведено около 200 определений термина «статистика», взятых из публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов. Эти определения позволяют проследить изменение содержания термина «статистика» во времени.

Как уже говорилось, статистические исследования проводятся с древнейших времён. Так, в Библии в Ветхом Завете есть Четвёртая книга Моисеева, которая называется «Числа». В ней рассказывается о переписи военнообязанных. Приведены её результаты — в 12 коленах переписаны 603 550 человек. В дальнейшем постоянно проводились статистические исследования, прежде всего для нужд налогообложения. В нашей стране они назывались «ревизские сказки».

На особенностях статистического учёта населения основана бизнес-идея предпринимателя Чичикова — героя произведения Н. В. Гоголя «Мёртвые души». Умершие после последней переписи

крестьяне с точки зрения государства числились живыми. Их можно было продавать. Это было выгодно их владельцам — помещикам, поскольку за крестьян надо было платить налоги. Чичиков планировал закупить по дешёвке достаточное количество «мёртвых душ», заложить их в банке и получить кредит. Затем он планировал их «вывод» (переселение) на окраину Российской империи — в Астраханскую губернию. Заключительный шаг — местные власти признают их умершими от холеры (за соответствующую мзду), на основании чего банк освобождает Чичикова от необходимости погашать взятый им кредит.

В Библии не было терминов «статистика» или «статистик». Согласно предисловию профессора В. В. Налимова к брошюре «Коллекция определений термина «статистика»», изданной Межфакультетской лабораторией статистических методов МГУ им. М. В. Ломоносова (руководитель лаборатории — академик АН СССР А. Н. Колмогоров) [94], впервые термин «статистик» мы находим в художественной литературе — в «Гамлете» Шекспира (1602 г., акт 5, сцена 2). Смысл этого слова у Шекспира — знать, придворные. По-видимому, оно происходит от латинского слова *status*, что в оригинале означает «состояние» или «политическое состояние».

В течение следующих 400 с небольшим лет термин «статистика» понимали и понимают по-разному. Как уже говорилось, в работе [94] сотрудниками Межфакультетской лаборатории статистических методов МГУ им. М. В. Ломоносова собрано более 200 определений этого термина, некоторые из которых обсуждаются ниже. Речь идёт о научной дисциплине, известной как «статистика». Развитие соответствующей практической области (в частности, такого ведомства как Федеральная служба государственной статистики — Росстат РФ) не рассматриваем.

Вначале под статистикой понимали описание экономического и политического состояния государства или его части. Первое определение, приведённое в [94, с. 6], относится к 1749 г. Оно таково: «...так называемая статистика является государствоведением (наукой об управлении) отдельного государства... Государствоведение содержит основные сведения о характерных чертах цивилизованного общества». Далее, к 1792 г. относится определение: «Статистика описывает состояние государства в настоящее время или в некоторый известный момент в прошлом». И в настоящее время деятельность государственных статистических служб достаточно хорошо соответствует этому определению.

В течение более чем ста лет во всех включённых в [94, с. 6–11] определениях под статистикой понимается государственное. За двумя исключениями. По мнению Наполеона Бонапарта: «Статистика — это бюджет вещей» (не датировано) [94, с. 9]. Тем самым статистические методы были признаны полезными не только для административного управления на уровне государства, но и для управления на уровне отдельного предприятия, хозяйства или региона. Можно констатировать, что Наполеон перешёл от государственного к управленческому учёту, который может применяться, в том числе, на отдельном предприятии. Второе исключение — согласно формулировке 1833 г. «цель статистики заключается в представлении фактов в наиболее сжатой форме» [94, с. 11]. Здесь статистика уже не связывается ни с государственным, ни с социально-экономическими проблемами вообще.

Однако постепенно термин «статистика» стал использоваться более широко.

В последней трети XIX в. наблюдается отход от отождествления статистики с государственным, хотя и лишь у некоторых авторов. Например, к 1868 г. относится определение: «Статистика — познание фактов на основе представления их в виде, в котором можно сравнивать их численные значения» [94, с. 18].

В 1872 г. появляется определение, в котором чётко выделяются две ветви статистической науки, на которые она делится и в настоящее время: «Статистика — 1) те методы, которые исследуют состояния и события путём массовых наблюдений; 2) наука о множестве явлений в государствах и группах людей, об их колебаниях и законах» [94, с. 18]. В настоящее время первая ветвь — это математическая статистика и прикладная статистика, а вторая — ведомственная наука Росстата как одна из экономических дисциплин.

Приведём ещё одно типичное определение.

«Статистика состоит в наблюдении явлений, которые могут быть подсчитаны или выражены посредством чисел» (1895, [94, с. 22]).

В XX в. статистику часто рассматривают, прежде всего, как самостоятельную научную дисциплину. «Статистика — это численное представление фактов из любой области исследования в их взаимосвязи» (1909, [94, с. 22]).

«Статистика есть совокупность методов и принципов, согласно которым проводится сбор, анализ, сравнение, представление и интерпретация числовых данных» (1925, [94, с. 25]).

В 1954 г. ученик А. Н. Колмогорова академик АН УССР Б. В. Гнеденко дал следующее развёрнутое определение, которое представляется нам наиболее адекватным:

«Статистика состоит из трёх разделов:

1) сбор статистических сведений, т. е. сведений, характеризующих отдельные единицы каких-либо массовых совокупностей;

2) статистическое исследование полученных данных, заключающееся в выяснении тех закономерностей, которые могут быть установлены на основе данных массового наблюдения;

3) разработка приёмов статистического наблюдения и анализа статистических данных. Последний раздел, собственно, и составляет содержание математической статистики» [94, с. 31].

В том же году Р. А. Фишер написал: «Статистика как наука является одним из разделов прикладной математики, и её можно рассматривать как математику, применяемую при разработке результатов массового наблюдения» [94, с. 31].

И ещё три определения.

По мнению Б. Л. Ван дер Вардена: «...узловым вопросом математической статистики является вопрос; как далеко могут отклоняться величины, вычисленные по выборке, от соответствующих идеальных значений?» (1960, [94, с. 33]).

«Методы, при помощи которых статистические данные собираются, суммируются и используются на основе обобщения, известны как статистические методы, или статистика» (1968, [94, с. 42]).

«Мне нравится следующее короткое и по существу определение статистики: „Статистика занимается сбором и интерпретацией данных“» (1968, [94, с. 43]).

В приведённых определениях ведущие специалисты отмечают различные стороны статистической науки. Обсуждению её развития посвящена часть 1 монографии [59, с. 7–86]. Статистические методы в экономике имеют второе название — эконометрика [244].

Термин «статистика» употребляют ещё в двух смыслах. Во-первых, в обиходе под «статистикой» часто понимают набор количественных данных о каком-либо явлении или процессе. Во-вторых, специалисты в области статистических методов называют «статистикой» функцию от результатов наблюдений, используемую для оценивания характеристик и параметров распределений и для проверки гипотез.

Чтобы подойти к современному состоянию, в частности, разъяснить широко используемый термин «прикладная статистика», кратко рассмотрим историю реальных статистических работ.

1.3. Краткая история статистических методов

Как уже отмечалось, типовые примеры раннего этапа применения статистических методов описаны в Ветхом Завете. Там, в частности, приводится число воинов в различных племенах («коленах»). С математической точки зрения дело сводилось к подсчёту числа попаданий значений наблюдаемых признаков в определённые градации.

В дальнейшем результаты обработки статистических данных стали представлять в виде таблиц и диаграмм, как это и сейчас делает Росстат. Надо признать, что по сравнению с Ветхим Заветом есть прогресс — в Библии не было таблиц и диаграмм. Однако нет продвижения по сравнению с работами российских статистиков конца XIX — начала XX в. (типовой монографией тех времён можно считать книгу [58], которая в настоящее время легко доступна, в отличие от других статистических публикаций тех времён).

Сразу после возникновения теории вероятностей (Паскаль, Ферма, XVII в.) вероятностные модели стали использоваться при обработке статистических данных. Например, изучалась частота рождения мальчиков и девочек, было установлено отличие вероятности рождения мальчика от $1/2$, анализировались причины того, что в парижских приютах эта вероятность не та, что в самом Париже и т. д. Имеется достаточно много публикаций по истории теории вероятностей с описанием раннего этапа развития статистических методов исследований, к лучшим из них относится очерк Б. В. Гнеденко [15]. Отметим, что основатель современного бухгалтерского учёта Лука Пачоли (1445–1517) хорошо известен и историкам теории вероятностей. Это символично, поскольку вопросы учёта и статистики тесно переплетаются в деятельности современного инженера, экономиста и менеджера.

В 1794 г. (по другим данным — в 1795 г.) К. Гаусс разработал метод наименьших квадратов (МНК), один из наиболее популярных ныне статистических методов, и применил его при расчёте орбиты астероида (в современной терминологии — малой планеты) Церера — для борьбы с ошибками астрономических наблюдений [36]. Гаусс разработал МНК в возрасте 17 лет.

В XIX в. заметный вклад в развитие практической статистики внёс бельгиец А. Кетле, на основе анализа большого числа реальных данных показавший устойчивость относительных статистических показателей, таких как доля самоубийств среди всех смертей [273].

Интересно, что основные идеи статистического приёмочного контроля и сертификации продукции обсуждались академиком Пе-

тербургской АН М. В. Остроградским (1801–1862) в 1846 г. и применялись в российской армии ещё в середине XIX в. [269]. Статистические методы управления качеством и сертификации продукции и сейчас весьма актуальны.

1.4. Параметрическая статистика

Современный этап развития статистических методов можно отсчитывать с 1900 г., когда англичанин К. Пирсон основал журнал “*Biometrika*”. Первая треть XX в. прошла под знаком параметрической статистики. Разрабатывались и изучались методы, основанные на анализе данных выборок из параметрических семейств распределений, т. е. описываемых кривыми семейства Пирсона. Наиболее популярным было нормальное (гауссово) распределение. Для проверки гипотез использовались критерии Пирсона, Стьюдента, Фишера. Они основаны на вероятностно-статистических моделях, в которых результаты измерений (наблюдений, испытаний, опытов, анализов, обследований) имеют нормальное распределение. В те годы были предложены метод максимального правдоподобия, дисперсионный анализ, сформулированы основные идеи планирования эксперимента.

Разработанную в первой трети XX в. теорию анализа данных называем параметрической статистикой. Название объясняется тем, что её основной объект изучения — это выборки из распределений, описываемых одним параметром или небольшим числом параметров (2–4). Наиболее общим является семейство кривых Пирсона, задаваемых четырьмя параметрами.

С чисто математической точки зрения параметрическая статистика предлагает интересные теоретические схемы, на основе которых удаётся построить развитую математическую теорию. Для профессионалов укажем на теорию достаточных статистик, неравенство Рао — Крамера, теорию оптимального оценивания и другие внутриматематические достижения.

Критика параметрической статистики вытекает из её оторванности от практики статистической работы. Как правило, нельзя указать каких-либо веских причин, по которым распределение обрабатываемых результатов наблюдений непременно должно входить в то или иное параметрическое семейство. Исключения есть, и они хорошо известны: если вероятностная модель предусматривает суммирование независимых случайных величин, то согласно Центральной предельной теореме сумму естественно описывать нормальным распределе-

нием; если же в модели рассматривается произведение таких величин, то итог по той же теореме приближается логарифмически нормальным распределением и т. д. Однако подобных моделей нет в подавляющем большинстве реальных ситуаций, и приближение реального распределения с помощью кривых из семейства Пирсона или его подсемейств — чисто формальная операция.

Именно из таких соображений критиковал параметрическую статистику академик АН СССР С. Н. Бернштейн в 1927 г. в своём докладе на Всероссийском съезде математиков [3]. Однако эта теория, к сожалению, до сих пор остаётся основой преподавания статистических методов в вузах и продолжает использоваться основной массой прикладников, использующих статистические методы в различных отраслях народного хозяйства и областях науки, но далёких от новых достижений в статистической науке. Почему так происходит? Чтобы попытаться ответить на этот вопрос, обратимся к наукометрии, т. е. к статистическим методам в науковедении.

1.5. Наукометрия статистических исследований

В рамках движения за создание Всесоюзной статистической ассоциации (учреждена в 1990 г.) был проведён анализ статистики как области научно-практической деятельности. Он показал, в частности, что актуальными для специалистов на тот момент являлись не менее чем 100 тыс. публикаций (подробнее см. статьи [115, 119]). За 35 лет, прошедшие с тех пор, добавилось не меньше. Реально же каждый из исследователей знаком с существенно меньшим количеством книг и статей. Так, в известном трёхтомнике М. Кендалла и А. Стьюарта [33–35] — наиболее объёмном на русском языке издании по статистическим методам — всего около 2 тыс. литературных ссылок. При всей очевидности соображений о многократном дублировании в публикациях ценных идей необходимо признать, что каждый специалист по статистическим методам владеет лишь небольшой частью накопленных в этой области знаний. Поэтому нет ничего удивительного в том, что приходится постоянно сталкиваться с игнорированием или повторением ранее полученных результатов, с уходом в тупиковые (с точки зрения практики) направления исследований, с беспомощностью при обращении к реальным данным и т. д. Все это — одно из проявлений адаптационного механизма торможения развития науки, вызванного её быстрым ростом, о котором ещё более полувека назад писали В. В. Налимов и другие науковеды (см., например, [91]).

Традиционный предрассудок состоит в том, что каждый новый результат, полученный исследователем — это кирпич в непрерывно растущее здание науки, который непременно будет проанализирован и использован научным сообществом, а затем и при решении практических задач. Реальная ситуация — совсем иная. Основа профессиональных знаний исследователя (математика, инженера, экономиста, менеджера, социолога, историка, геолога, медика) закладывается в период обучения. Затем знания пополняются в том узком направлении, в котором работает специалист. Следующий этап — тиражирование знаний при обучении нового поколения. В результате вузовские учебники отстают от современного развития на десятки лет. Так, учебники по математической статистике, согласно мнению экспертов, по научному уровню в основном соответствуют 1940–1960-м гг. А потому середине XX в. соответствует большинство вновь публикуемых исследований и тем более — прикладных работ. Одновременно приходится признать, что результаты, не вошедшие в учебники, независимо от их ценности почти все забываются. Достаточно взглянуть на длинные ряды библиотечных полок с выпусками научных журналов за последние 100–200 лет. Сколько из них были хотя бы раз открыты в текущем веке? Кроме того, сейчас все популярнее поиск информации в интернете — вплоть до того, что кое-кто из молодых даже забывает о существовании библиотек. А ведь в интернете можно найти лишь небольшую часть опубликованных в XX (и даже в XXI) веке научных работ. Например, статьи, опубликованные в журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» до 2015 г., в интернете отсутствуют, за исключением единичных работ, которые самостоятельно размещены авторами на тех или иных ресурсах.

Активно продолжается развитие тупиковых направлений. Психологически это понятно. Приведу пример из опыта автора этой монографии. В своё время по заказу Госстандарта он разработал методы оценки параметров гамма-распределения [248]. Поэтому ему близки и интересны работы по оцениванию параметров по выборкам из распределений, принадлежащих тем или иным параметрическим семействам, понятия функции максимального правдоподобия, эффективности оценок, использование неравенства Рао — Крамера и т. д. К сожалению, известно, что это — тупиковая ветвь теории статистики, поскольку реальные данные не подчиняются каким-либо параметрическим семействам, надо применять иные статистические методы, о которых речь пойдёт ниже. Понятно, что специалистам по параметрической статистике, потратившим многие годы на совершенствова-

ние в своей области, психологически трудно согласиться с этим утверждением. В том числе и мне. Но необходимо идти вперёд. Поэтому мои учебники во многом очищены от тупиковых подходов. В том числе и от неравенства Рао — Крамера. Однако я включил разделы, посвящённые оцениванию параметров распределений, поскольку эта тематика часто обсуждается в литературе, причём с устаревших позиций. Например, вместо уходящих в прошлое оценок максимального правдоподобия в настоящее время рекомендуют использовать одношаговые оценки [225].

1.6. Непараметрическая статистика

Статистические методы, которые не основаны на нереалистическом предположении о том, что рассматриваемые выборки взяты из распределений, описываемых одним параметром или небольшим числом параметров (2–4), называют непараметрическими. При математическом обосновании непараметрических статистических методов обычно вводят те или иные условия регулярности, например, требуют непрерывности функции распределения результатов наблюдений или существования математического ожидания и дисперсии. Как правило, подобные условия регулярности носят внутриматематический характер и не ограничивают прикладные возможности непараметрических методов.

Примерами являются критерии Колмогорова, Смирнова, Реньи, Вилкоксона, омега-квадрат (Крамера — Мизеса — Смирнова) [5]. Они предназначены для проверки гипотез согласия и однородности и разработаны в 30–40-е гг. XX в. История непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена и Кендалла уходит корнями в работы начала XX в. В 1950-х гг. с известной работы Н. В. Смирнова [286] началась разработка методов непараметрического оценивания плотности распределения вероятностей. Исследования по проблемам непараметрической статистики ведутся и в XXI в.

Во второй половине XX в. появились новые области статистических методов — робастная статистика, компьютерное статистическое моделирование (методы статистических испытаний (Монте-Карло), бутстреп-методы), статистика нечисловых и интервальных данных. Эти области активно развиваются и в настоящее время.

Иные причины привели к появлению и распространению прикладной статистики. Что означает этот термин? Вполне естественно, что математическая статистика выступает как метатеория по отношению к статистическим методам в той или иной области приме-

ния — к эконометрике, т. е. статистическим методам в экономике [129], к наукометрии [91], к биометрике и другим конкретным областям применения. По цитированному выше определению Б. В. Гнеденко: «разработка приёмов статистического наблюдения и анализа статистических данных составляет содержание математической статистики». Почему понадобилась новая научная область — прикладная статистика — между математической статистикой и статистическими методами в конкретных областях применений? Для ответа на этот вопрос необходимо обсудить внутреннюю логику развития статистических методов как научно-прикладной дисциплины.

1.7. Появление прикладной статистики

В нашей стране термин «прикладная статистика» вошёл в широкое употребление в 1981 г. после выхода массовым тиражом (33 940 экз.) сборника «Современные проблемы кибернетики (прикладная статистика)» [290]. В этом сборнике обосновывалась трёхкомпонентная структура прикладной статистики [105]. Во-первых, в неё входят ориентированные на прикладную деятельность статистические методы анализа данных (эту область можно назвать прикладной математической статистикой и включать также и в прикладную математику). Однако прикладную статистику нельзя целиком относить к математике. Она включает в себя две нематематические области. Во-первых, методологию организации статистического исследования: как планировать исследование, как собирать данные, как подготавливать данные к обработке, какие вероятно-статистические модели использовать, какие статистические методы выбирать для обработки данных, как представлять результаты. Во-вторых, организацию компьютерной обработки данных, в том числе разработку и использование баз данных и электронных таблиц, статистических программных продуктов, например, диалоговых систем анализа данных. В нашей стране термин «прикладная статистика» использовался и ранее 1981 г., но лишь внутри сравнительно небольших и замкнутых групп специалистов (подробнее см. в [105]).

Прикладная статистика и математическая статистика — это две разные научные дисциплины. Различие чётко проявляется не только в исследованиях, но и при преподавании. Курс математической статистики состоит в основном из доказательств теорем, как и соответствующие учебники и учебные пособия. В курсах прикладной статистики основное — методология анализа данных и алгоритмы расчётов, а теоремы приводятся как обоснования этих алгоритмов, доказа-

тельства же, как правило, опускаются (их можно найти в научной литературе).

К настоящему времени беспристрастному наблюдателю очевидно чётко выраженное размежевание этих двух научных дисциплин. Математическая статистика исходит из сформулированных в 1930–1950-х гг. постановок математических задач, происхождение которых связано с рассматриваемыми в те времена проблемами анализа статистических данных. Начиная с 70-х гг. XX в. исследования по математической статистике посвящены обобщению и дальнейшему математическому изучению этих старых задач. Поток новых математических результатов (теорем) не ослабевает, но новые практические рекомендации по обработке статистических данных при этом почти не появляются. Можно сказать, что математическая статистика как научное направление замкнулась внутри себя.

Сам термин «прикладная статистика» возник как реакция на описанную выше тенденцию. Прикладная статистика нацелена на решение реальных задач. Поэтому в ней возникают новые постановки математических задач анализа статистических данных, развиваются и обосновываются новые методы. Обоснование часто проводится математическими методами, т. е. путём доказательства теорем. Большую роль играет методологическая составляющая — как именно ставить задачи, какие предположения принять с целью дальнейшего математического изучения. Велика роль современных информационных технологий, в частности, компьютерного эксперимента.

Рассматриваемое соотношение математической и прикладной статистик отнюдь не является исключением. Как правило, математические дисциплины проходят в своём развитии ряд этапов. Вначале в какой-либо прикладной области возникает необходимость в применении математических методов и накапливаются соответствующие эмпирические приёмы (для геометрии это «измерение земли», т. е. землемерие, в Древнем Египте). Затем возникает математическая дисциплина со своей аксиоматикой (для геометрии это — время Евклида). Затем идёт внутриматематическое развитие и преподавание (известно, что большинство результатов элементарной геометрии получено учителями гимназий в XIX в.). При этом на запросы исходной прикладной области перестают обращать внимание, и та для решения своих задач порождает новые научные дисциплины (сейчас «измерением земли» занимается не геометрия, а геодезия и картография). Затем научный интерес к исходной дисциплине иссякает, но преподавание по традиции продолжается (элементарная геометрия «ушла» из

вузов, но до сих пор изучается в средней школе, хотя трудно понять, в каких практических задачах может понадобиться, например, теорема о том, что высоты треугольника пересекаются в одной точке). Следующий этап — окончательное вытеснение дисциплины из реальной жизни в историю науки (объём преподавания элементарной геометрии в настоящее время постепенно сокращается, в частности, ей всё меньше уделяется внимания на вступительных экзаменах в вузах). К интеллектуальным дисциплинам, закончившим свой жизненный путь, относится средневековая схоластика. Как справедливо отмечает профессор МГУ им. М. В. Ломоносова В. Н. Тутубалин [296], теория вероятностей и математическая статистика успешно двигаются по её пути — вслед за элементарной геометрией.

Резюмируем сказанное. Хотя статистические данные собираются и анализируются с незапамятных времён (см., например, «Книгу Чисел» в Ветхом Завете), современная математическая статистика как наука была создана, по общему мнению специалистов, сравнительно недавно — в первой половине XX в. Именно тогда были разработаны основные идеи и получены результаты, излагаемые ныне в учебных курсах математической статистики. После чего специалисты по математической статистике занялись внутриматематическими проблемами, а для теоретического обслуживания проблем практического анализа статистических данных стала формироваться новая дисциплина — прикладная статистика.

В настоящее время статистическая обработка данных проводится, как правило, с помощью соответствующих программных продуктов. Разрыв между математической и прикладной статистикой проявляется, в частности, в том, что большинство методов, включённых в статистические пакеты программ (например, в заслуженные Statgraphics и SPSS или в более новую систему Statistica), даже не упоминаются в типовых учебниках по математической статистике. В результате специалист по математической статистике оказывается зачастую беспомощным при обработке реальных данных, а пакеты программ применяют (что ещё хуже — и разрабатывают) лица, не имеющие необходимой теоретической подготовки. Естественно, что они допускают разнообразные ошибки, в том числе в таких ответственных документах, как государственные стандарты по статистическим методам (о грубых ошибках в ГОСТах рассказано, например, в статье [123]).

1.8. Что даёт прикладная статистика народному хозяйству?

Так называлась статья [109], в которой приводились многочисленные примеры успешного использования прикладной статистики и других статистических методов при решении практических задач. Перечень примеров можно продолжать практически безгранично (см., например, сводку [260]). Статья [109] появилась в ответ на нападки [293] на публикации по прикладной статистике (из-за их продвинутой математизированности). Нападки со стороны тех, кто исходил из примитивной парадигмы XIX в. в области статистических методов.

Методы прикладной статистики используются в зарубежных и отечественных экономических и технических исследованиях, работах по управлению (менеджменту), в медицине, социологии, психологии, истории, геологии и других областях. Их применение даёт заметный экономический эффект. Так, по подсчётам профессора Массачусетского технологического института Фримена (см. [14]), применение только статистического приёмочного контроля дало промышленности США 4 млрд долларов в 1958 г. (это более 44 млрд долларов в ценах 2025 г.), т. е. 0,8% ВВП — валового внутреннего продукта (по состоянию на 1958 г.).

Своеобразие исторического пути России привело к тому, что в нашей стране нет специализированного научного журнала по статистическим методам. Публикации по новым статистическим методам, по их применениям в технико-экономических исследованиях, в инженерном деле постоянно появляются, прежде всего, в журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», в секции «Математические методы исследования». Надо назвать также журналы «Автоматика и телемеханика» (издаётся Институтом проблем управления Российской академии наук), «Экономика и математические методы» Центрального экономико-математического института РАН, Научный журнал КубГАУ (выпускается Кубанским государственным аграрным университетом, г. Краснодар) и др.

Однако необходимо констатировать, что для большинства менеджеров, экономистов и инженеров, а также психологов и представителей иных специальностей, прикладная статистика и другие статистические методы являются пока экзотикой. Это объясняется тем, что в вузах современным статистическим методам почти не учат. Во всяком случае, по состоянию на 2025 г. каждый квалифицированный специалист в этой области — самоучка.

Этому выводу не мешает то, что в вузовских программах обычно есть два курса, связанных со статистическими методами. Один из них — «Теория вероятностей и математическая статистика». Этот небольшой курс обычно читают специалисты с математических кафедр. Они успевают дать лишь общее представление об основных понятиях математической статистики первой половины XX в. Важно, что внимание математиков обычно сосредоточено на внутриматематических проблемах, их больше интересуют доказательства теорем, а не применение современных статистических методов в задачах экономики и менеджмента. Другой курс — «Статистика» или «Общая теория статистики», входящий в стандартный блок экономических дисциплин. Фактически он является введением в прикладную статистику и содержит первые начала эконометрических методов (по состоянию на 1900 г.). (Повторим, что эконометрика — это применение статистических методов в экономике и управлении [129].)

Статистические методы как учебный предмет опираются на два названных вводных курса. Этот учебный предмет призван вооружить специалиста современным статистическим инструментарием. Специалист — это инженер, экономист, менеджер, геолог, медик, социолог, психолог, историк, химик, физик и т. д. Во многих странах мира — Японии и США, Франции и Швейцарии, Перу и Ботсване и др. — статистическим методам обучают в средней школе. ЮНЕСКО постоянно проводит конференции по вопросам такого обучения [337]. В СССР и СЭВ, а теперь — по плохой традиции — и в России почти полностью игнорируют этот предмет в средней школе (в последние годы ситуация начинает меняться: начиная с 7 класса, наряду с «Алгеброй» и «Геометрией» появился ещё один предмет — «Вероятность и статистика») и лишь слегка затрагивают его в высшей. Результат на рынке труда очевиден — снижение конкурентоспособности специалистов.

Проблемы прикладной статистики и других статистических методов постоянно обсуждаются специалистами. Широкий интерес вызвала дискуссия в журнале «Вестник статистики», в рамках которой были, в частности, опубликованы статьи [109, 115]. На появление в нашей стране прикладной статистики как самостоятельной научной области отреагировали и в США [333].

Контрастом к сказанному является тот неоспоримый факт, что в нашей стране получены многие фундаментальные результаты прикладной статистики. Огромное значение имеют работы академика РАН А. Н. Колмогорова [54]. Во многих случаях именно его работы дали первоначальный толчок дальнейшему развитию ряда направле-

ний прикладной статистики. Зачастую ещё 70–90 лет назад А. Н. Колмогоров рассматривал те проблемы, которые только сейчас начинают широко обсуждаться. Как правило, его работы не устарели и сейчас. Свою жизнь посвятили прикладной статистике члены-корреспонденты АН СССР Н. В. Смирнов и Л. Н. Большев. В наших учебниках постоянно встречаются ссылки на лучшую публикацию XX в. по статистическим методам — составленные ими подробно откомментированные «Таблицы...» [5].

1.9. Статистические методы в России

Специалисты по истории официальной государственной статистики установили [273], что в России, как и в других странах, статистические исследования проводились с момента возникновения государств. Цели этих исследований, как и описанных в Библии работ под руководством Моисея, вытекали из потребностей государственного управления, прежде всего налогообложения и обороны страны. С XII в. (в традиционной хронологии) на Руси проводились переписи населения [273]. Развитие статистической науки началось в России сразу же с выделением в начале XVIII в. исследовательской деятельности как необходимой составляющей забот государства. Проще говоря, сразу же с организацией первого научного учреждения — Академии наук.

Первое статистико-экономическое обозрение России было составлено Иваном Кириловичем Кириловым (1689–1737), обер-секретарём Сената (в написании отчества и фамилии И. К. Кирилова, названий трудов отечественных статистиков XVIII в. сохранена исходная орфография), под названием «Цветущее состояние Всероссийского государства...». Первый в России научный труд по вопросам организации учёта населения — «Разсуждение о ревизии поголовной и касающемся до оной» — был написан в 1747 г. Василием Никитичем Татищевым (1686–1750), известным государственным деятелем той эпохи. Он, в частности, одним из первых применял анкеты для сбора статистических данных. Большой вклад в теорию и практику отечественной статистики внёс Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765).

Подробное описание развития дореволюционной статистической науки и практики в России можно найти в трудах по истории социально-экономической ветви статистики (см., например, [49, 273]). К сожалению, в этих работах обычно не рассматривается раз-

витие отечественной вероятностно-статистической научной школы (о ней см., например, [15]).

Реформы императора Александра Второго, в первую очередь, создание земств (органов местного самоуправления), дали мощный стимул развитию статистики. Связано это было, прежде всего, с тем, что штатное расписание губернских и уездных земств, как правило, включало должность статистика. Так, к концу 1894 г. за 15 лет активной статистической деятельности были собраны, разработаны и опубликованы земствами материалы крестьянских подворных переписей по 172 уездам, охватившим около 4 миллионов крестьянских дворов — примерно четвертую часть всего населения России [273, с. 109].

Проведение статистических исследований было делом чести для отечественной интеллигенции. Так, Антон Павлович Чехов по собственной инициативе в 1890 г. провёл перепись на Сахалине, лично опросив несколько тысяч каторжников [313].

Расцвет статистики в конце XIX в. проявился в появлении большого числа оригинальных исследований, выполненных на высоком профессиональном уровне. Одна из них хорошо известна и в настоящее время, что объясняется личностью автора. Речь идёт о книге В. И. Ульянова (Ленина) «Развитие капитализма в России. Процесс образования внутреннего рынка для крупной промышленности» [58]. Она была издана в 1899 г., когда автору было 29 лет. По современным критериям за эту монографию автору можно было бы присудить учёную степень доктора экономических наук. Это утверждение свидетельствует не только о высоком профессиональном уровне В. И. Ульянова как исследователя, но и об известной деградации социально-экономической статистики за последние 100 лет.

Наибольшие достижения в XX в. были получены в России в математической статистике. Упомянем работы А. А. Чупрова (1874–1926) по теории корреляции. Несколько позже началась деятельность А. Н. Колмогорова.

Среди математиков XX столетия академик АН СССР А. Н. Колмогоров (1903–1987) должен быть назван первым. Именно его работы дали первоначальный толчок дальнейшему развитию ряда направлений, важных для современных статистических методов. Как уже отмечалось, есть много примеров того, что ещё 70–90 лет назад А. Н. Колмогоров получил важные результаты в тех областях, которые только сейчас начинают широко обсуждаться.

В 1988 г. затраты на статистический анализ данных в нашей стране оценивались в 2 млрд рублей ежегодно [43]. Отечественным

исследованиям XX в. в области прикладной статистики и других статистических методов целесообразно посвятить отдельные публикации. Надеемся, они появятся.

Отметим здесь, что развитие статистических методов активно продолжается и в настоящее время. В XXI в. выявлена и сформулирована новая парадигма математической статистики [152], развивается статистика нечисловых данных [218], включая теорию классификации [169] и статистику интервальных данных [187]. Создана системная нечёткая интервальная математика [252–255] и на её основе — теория когнитивных функций [62] и т. д. Подробнее об этих работах расскажем в следующих главах.

Глава 2

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ СТАТИСТИКА В НАШЕЙ СТРАНЕ

В настоящей главе обсуждается развитие непараметрической и прикладной статистики в нашей стране в 1930–1990 гг. Представлены работы великих статистиков XX в. Н. В. Смирнова, Л. Н. Большова, В. В. Налимова. Глазами американцев показана российская дискуссия о прикладной статистике. Кратко рассказано о создании Всесоюзной статистической ассоциации (1990) и дальнейших событиях.

В главе 1 были рассмотрены основные этапы становления статистических методов. Работам выдающихся отечественных исследователей А. Н. Колмогорова и Б. В. Гнеденко посвящены статьи [54, 172] и [135, 177] соответственно.

В довоенный период отечественная вероятностно-статистическая наука прославилась двумя достижениями. Об одном — построении А. Н. Колмогоровым теории вероятностей на основе теории меры и интеграла Лебега — уже говорилось выше (см. также [54, 172]). Второе — разработка непараметрических критериев проверки согласия и однородности. Сначала фундаментальный результат — критерий согласия эмпирического распределения с полностью известным теоретическим (критерий Колмогорова) — был получен А. Н. Колмогоровым [38, с. 134–141]. Затем дело взял в свои руки член-корреспондент АН СССР Николай Васильевич Смирнов (1900–1966).

2.1. О работах Н. В. Смирнова

Его основные научные труды опубликованы в итоговом сборнике [287], на который и будем ссылаться. Наиболее ценная книга XX в. по статистическим методам, на наш взгляд, подготовлена членами-корреспондентами АН СССР Л. Н. Большевым и Н. В. Смирновым. Это «Таблицы математической статистики» [5]. Название не должно обманывать — весьма полезна начинающая книгу пояснительная часть (разделы с кратким и строжайше выверенным описанием классических статистических методов, примерами их применения, комментариями к таблицам). Учебники Н. В. Смирнова по статистическим методам и по сей день остаются среди лучших книг, адресованных прикладникам [288, 289].

Как учёный, Н. В. Смирнов получил много глубоких результатов. Так, с его работы 1951 г. «О приближении плотностей распределения случайной величины» (см. [286] и [287, с. 205–223]) началось развитие такого перспективного, в том числе в статистике нечисловых данных [218; 225, гл. 11], направления, как непараметрические оценки плотности.

Однако с его именем связывают, прежде всего, «критерии Смирнова». Пусть $F_n(t)$ — эмпирическая функция распределения, построенная по выборке объёма n из непрерывной функции распределения $F(t)$. Напомним, что согласно Л. Н. Большеву и Н. В. Смирнову [5] значение эмпирической функции распределения в точке x равно доле результатов наблюдений в выборке, меньших x . Альтернативный вариант определения состоит в замене условия «меньших» на условие «меньших или равных». При рассмотрении конкретных критериев необходимо обращать внимание на то, какой вариант определения используется.

Одновыборочные критерии Смирнова, введённые в его статье 1939 г. «Об отклонениях эмпирической функции распределения» [287, с. 88–107], основаны на статистиках

$$D_n^- = \inf_{-\infty < t < +\infty} (F_n(t) - F(t));$$

$$D_n^+ = \sup_{-\infty < t < +\infty} (F_n(t) - F(t)).$$

Очевидно, критерий Колмогорова есть максимум этих двух статистик. Поэтому возникает желание объединить все три критерия в одну группу — группу критериев Колмогорова — Смирнова. Однако разработанные Н. В. Смирновым методы рассуждений, использованные для получения распределений рассматриваемых статистик, совершенно оригинальны. Они не имеют ничего общего с подходом А. Н. Колмогорова. У этих двух исследователей нет совместных работ по рассматриваемой тематике. Поэтому мы считаем, что надо говорить отдельно о критерии Колмогорова и отдельно о критериях Смирнова, а если уж надо объединить их вместе, то говорить о критериях *типа* Колмогорова — Смирнова, но не о критериях Колмогорова — Смирнова, поскольку употребление последнего выражения приводит к искажению исторической правды [120, 170].

Двухвыборочные критерии Смирнова однородности двух независимых выборок были им предложены и изучены в 1939 г. (см. [287, с. 117–127]). Единственное ограничение — функции распределения $F(x)$ и $G(x)$ должны быть непрерывными. Критерии Смирнова осно-

ваны на использовании эмпирических функций распределения $F_m(x)$ и $G_n(x)$, построенных по первой и второй выборкам соответственно. Значение двухвыборочной двухсторонней статистики Смирнова

$$D_{m,n} = \sup_x |F_m(x) - G_n(x)|$$

сравнивают с соответствующим критическим значением и по результатам сравнения принимают или отклоняют гипотезу H_0 о совпадении (однородности) функций распределения (подробнее см., например, [5] или [170]). Практически значение статистики $D_{m,n}$ рекомендуется согласно [5] вычислять по формулам

$$D_{m,n}^+ = \max_{1 \leq r \leq m} \left(\frac{r}{m} - F_n(y'_r) \right) = \max_{1 \leq s \leq n} \left(G_n(x'_s) - \frac{s-1}{n} \right);$$

$$D_{m,n}^- = \max_{1 \leq r \leq m} \left(F_n(y'_r) - \frac{r-1}{m} \right) = \max_{1 \leq s \leq n} \left(\frac{s}{n} - G_n(x'_s) \right);$$

$$D_{m,n} = \max(D_{m,n}^+, D_{m,n}^-),$$

где $x'_1 < x'_2 < \dots < x'_n$ — элементы первой выборки $x_1, x_2, \dots, x_n$, переставленные в порядке возрастания (т. е. вариационный ряд, построенный по первой выборке), а $y'_1 < y'_2 < \dots < y'_m$ — элементы второй выборки $y_1, y_2, \dots, y_m$, также переставленные в порядке возрастания. Поскольку функции распределения $F(x)$ и $G(x)$ предполагаются непрерывными, то вероятность совпадения каких-либо выборочных значений равна 0. Статистики $D_{m,n}^-$, $D_{m,n}^+$ также могут быть использованы для проверки однородности двух независимых выборок. Их называют двухвыборочными односторонними статистиками Смирнова.

Статистика омега-квадрат (подробнее о ней см. в [103, гл. 2.3] и [170])

$$\omega_n^2 = n \int_{-\infty}^{+\infty} (F_n(x) - F(x))^2 dF(x)$$

также используется для проверки согласия эмпирического распределения с фиксированным теоретическим. Эту статистику в 1928–1931 гг. предлагали использовать Г. Крамер и Р. фон Мизес, однако её предельное распределение впервые вычислил в 1937 г. Н. В. Смирнов в статье «О распределении ω^2 -критерия Мизеса» [287, с. 60–78], что и позволило использовать эту статистику в практических расчётах. Поэтому статистику ω_n^2 обычно называют также статистикой Крамера — Мизеса — Смирнова. Имеющаяся в указанной статье [287, с. 60–

78] погрешность в формулировке леммы 6 (с. 75, формула (97)) (пропущен множитель $(-1)^k$ из-за неадекватного применения теории функций комплексного переменного) исправлена нами (автором данной монографии и С. А. Пироговым) в статье [102].

Двухвыборочная двухсторонняя статистика Смирнова и аналогичная статистике Крамера — Мизеса — Смирнова двухвыборочная статистика типа омега-квадрат (статистика Лемана — Розенблатта) дают возможность построить состоятельные критерии проверки абсолютной однородности независимых выборок, позволяющие обнаруживать любые альтернативы гипотезе тождественного совпадения функций распределения двух выборок. Алгоритмы расчёта этих статистик приведены в [150]. Наиболее продвинутые таблицы распределения двухвыборочной двухсторонней статистики Смирнова подготовлены нашим коллективом [74, 258].

Как следует из сказанного выше, А. Н. Колмогоров и Б. В. Гнеденко внесли огромный вклад в развитие статистических методов. Однако они занимались и многими другими проблемами (особенно А. Н. Колмогоров). Полностью посвятили себя статистическим методам в XX в. только два исследователя с академическими званиями — члены-корреспонденты АН СССР Н. В. Смирнов и Л. Н. Большев.

2.2. О Л. Н. Большеве

Логин Николаевич Большев (1922–1978) до конца Великой Отечественной войны участвовал в боевых действиях как лётчик-истребитель. В 1951 г. окончил механико-математический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, будучи учеником А. Н. Колмогорова. Затем стал сотрудником Математического института АН СССР, в котором работал бок о бок с Н. В. Смирновым, которого и сменил в 1966 г. на посту руководителя отдела математической статистики. Для работ Л. Н. Большева [4] характерно сочетание высокого математического уровня с направленностью на практические приложения статистических методов. Его безвременная кончина обозначила рубеж, после которого разрыв между математической статистикой и статистическими методами (включая прикладную статистику) стал в сложившихся отечественных условиях неизбежным.

Постоянно используются в практической работе «Таблицы математической статистики» Л. Н. Большева и Н. В. Смирнова [5]. Будут применяться и в дальнейшем, поскольку распространённые статистические программные продукты имеют существенно более низкий научный уровень по сравнению с этой книгой [137].

В статье [105], провозгласившей выделение прикладной статистики как самостоятельного научного направления, отмечено, что Л. Н. Большев в беседе с автором данной монографии активно возражал против термина «прикладная статистика», поскольку «Вся статистика является прикладной». При этом он отметил, что этот термин — реакция на развитие так называемой аналитической статистики (термин 1970-х гг.), которая занимается внутриматематическими вопросами.

2.3. В. В. Налимов как организатор науки

Профессор МГУ им. М. В. Ломоносова, доктор технических наук Василий Васильевич Налимов (1910–1997), далее в этом разделе В. В. Налимов — создатель и руководитель нескольких новых научных направлений: метрологии количественного анализа (в химии), химической кибернетики, математической теории эксперимента и наукометрии. Занимался проблемами математизации биологии, анализом оснований экологического прогноза, вероятностными аспектами эволюции, проблемами языка и мышления, философией и методологией науки, проблемами человека в современной науке, вероятностной теорией смыслов, проблемой спонтанности сознания [87]. Свой жизненный путь описал в книге [89].

Известность пришла к В. В. Налимову после выхода книги «Применение математической статистики при анализе вещества» [84] — справочника по применению классических статистических методов в работе химиков-аналитиков. Поскольку В. В. Налимов пришёл в область статистических методов не из математики, а из практической деятельности в заводских лабораториях, то и книга его была ориентирована на потребности практики.

Следующим шагом было создание (в 1962 г.) секции «Математические методы исследования» редколлегии журнала «Заводская лаборатория». Сейчас под названием журнала указано: «Ежемесячный научно-технический журнал по аналитической химии, физическим, математическим и механическим методам исследования, а также сертификации материалов». У истоков секции стояли Б. В. Гнеденко и В. В. Налимов, однако реально работу секции организовывал В. В. Налимов. Под его руководством она стала и остаётся поныне штабом развертывания исследований по статистическим методам в нашей стране.

В соответствии с тематикой журнала публикации секции посвящены в основном статистическим методам анализа данных измерений,

наблюдений, испытаний, анализов, опытов, обследований. Большое значение придаётся математическим методам планирования экспериментов. В частности, при оптимизации технологических процессов в металлургической, химико-технологической, фармацевтической и иных отраслях промышленности применение методов экстремального планирования экспериментов позволяет заметно повысить выход продукта, обычно на 30–300%.

Основные направления работы секции — прикладная статистика и планирование эксперимента. В первом из них принимается, что экспериментатор не может выбирать точки (значения факторов), в которых проводятся измерения, во втором, напротив, выбор возможен, и основная задача — оптимальный подбор таких точек. Большое внимание уделяется вопросам оптимального управления технологическими процессами, в частности, статистическим методам управления качеством продукции. Рассматриваются также теория и практика экспертных оценок, применение нечётких множеств и др.

Заслугой В. В. Налимова является то, что в 60–70-е гг. XX в. в нашей стране была создана мощная научно-практическая школа в области планирования эксперимента. Перу В. В. Налимова принадлежит длинный ряд статей и книг, посвящённых развитию теории и практики планирования эксперимента [85, 90, 92]. Итоги развития этой области статистических методов подведены учениками В. В. Налимова [66], её математическим основам посвящён справочник [69].

В 1961 г. была создана секция «Химическая кибернетика» (под председательством В. В. Налимова) в Научном совете по комплексной проблеме «Кибернетика» при президиуме АН СССР. С 1971 г. В. В. Налимов возглавлял секцию «Математическая теория эксперимента». Она объединяла более 500 активно действующих специалистов, работавших в академических и отраслевых институтах, вузах и на промышленных предприятиях. Развитие новой отрасли науки отслеживалось методами наукометрии, во многом созданной трудами В. В. Налимова. Первая в мире монография по наукометрии была написана В. В. Налимовым в соавторстве с З. М. Мульченко [91].

В 1965 г. А. Н. Колмогоров организовал в МГУ им. М. В. Ломоносова Межфакультетскую лабораторию статистических методов и пригласил В. В. Налимова стать его первым заместителем. Задачи, поставленные перед Лабораторией, формулировались примерно так: изучение и дальнейшая разработка вероятностно-статистических методов; их пропаганда и широкое внедрение в научную, инженерную и медицинскую практику; хозяйственная деятельность; педагогиче-

ская и издательская деятельность; проведение общемосковских семинаров, летних научных школ, участие в конференциях [89, с. 272]. Штатный состав достигал 130 человек. Такого мощного научного института — лидера не было раньше в нашей стране. Нет и сейчас.

Организационным структурам, занимавшимся развитием статистических методов в нашей стране, не удалось укрепиться.

Большим успехом было введение в начале 1970-х гг. преподавания в вузах химической кибернетики и создание соответствующих кафедр. Однако через год последовало решение о сокращении штатов, и эти вновь введенные кафедры перестали существовать.

Ректор МГУ им. М. В. Ломоносова академик И. Г. Петровский поддерживал создание и развитие Межфакультетской лаборатории статистических методов А. Н. Колмогорова. Однако после его смерти выяснилось, что эта Лаборатория существует, так сказать, «нелегально», т. е. не входит в структуру университета. И в 1975 г. Лаборатория была расформирована, её сотрудники были распределены между пятью факультетами университета. Оказался уничтоженным единственный в нашей стране центр, занимавшийся методологическими аспектами вероятностно-статистического моделирования [89, с. 291]. И это резко отрицательно сказалось на уровне отечественных прикладных работ.

В июле 1959 г. при президиуме АН СССР был создан Совет по кибернетике, который возглавил академик А. И. Берг. Инженер-адмирал (высшее флотское звание) Аксель Иванович Берг (1893–1979) работал в области создания, развития и применения радиолокации и современных систем радионавигации, а затем и над проблемами кибернетики, став крупнейшим специалистом в основных областях этой отрасли науки. Как уже отмечалось, около 20 лет А. И. Берг поддерживал развитие статистических методов. А после его смерти новое руководство Совета «перекрыло кислород» этой тематике.

После смерти в 1978 г. члена-корреспондента АН СССР Л. Н. Большева резко сократилось сотрудничество между математиками и статистиками, разошлись пути математической и прикладной статистики.

Все эти события второй половины 1970-х гг. способствовали тому, что интересы В. В. Налимова сместились из научно-организационной деятельности в сферу его личных научных интересов. В книге «Вероятностная модель языка» [86] В. В. Налимов развивает мысль о нечёткости слов в естественном языке (ср. с констатацией «Мы мыслим нечётко» в статье [106]). Затем в серии публикаций В. В. Налимов развивает вероятностно ориентированную философию,

включая вероятностное исчисление смыслов [86]. Последняя научная книга В. В. Налимова «В поисках иных смыслов» [88] начинается так: «Основная задача автора состоит в том, чтобы показать, что в наше время — в век утраты фундаментальных смыслов и всеобщей разбро-санности знаний по отдельным zakresам многоликой культуры — всё же возможно построение единых, по-прежнему целостно звучащих метафизических систем».

В настоящей главе, а также в ряде статей, указанных в сводке [246], обсуждаются основные достижения пяти выдающихся исследователей советского периода — А. Н. Колмогорова, Б. В. Гнеденко, Н. В. Смирнова, Л. Н. Большева, В. В. Налимова. Вместе с ними работали тысячи специалистов. Нельзя не назвать А. Я. Хинчина, С. Н. Бернштейна, Е. Е. Слуцкого, В. С. Немчинова, В. И. Романовского, Г. К. Круга, А. А. Любищева. И вспомнить многих, многих других. История русской и советской статистики требует дальнейшего изучения, прежде всего потому, что старые дискуссии продолжаются и сейчас. Так, в недавних монографиях [228, 254] обсуждаются многие из тех проблем, которые волновали В. В. Налимова [89].

2.4. Дискуссия о прикладной статистике

Развитие прикладной статистики в нашей стране сопровождалось бурной дискуссией. Объективный анализ её начального этапа был дан на страницах органа Американской статистической ассоциации. Статья Сэмюэля Котца и Кэтлин Смит «Пространство Хаусдорфа и прикладная статистика: точка зрения учёных СССР» [333] описывает различные взгляды, имеющие распространение и в XXI в. Используем эту статью, чтобы «взглянуть со стороны» на споры 1980-х, «глазами американцев» обсудить российскую дискуссию о прикладной статистике. Ниже в этом разделе приведём основное содержание этой ёмкой статьи, основные положения которой актуальны и сейчас.

Интересующая нас статья [333] посвящена дискуссии, развернувшейся на страницах советского статистического журнала «Вестник статистики» по вопросам существования и релевантности (уместности) прикладной статистики как самостоятельной научной дисциплины. В ней анализируется содержание четырёх писем редактору и редакционных комментариев к ним, которые были опубликованы в этом журнале в период с октября 1985 г. по июнь 1987 г. Основная задача этой статьи состоит в том, чтобы осветить длительную (продолжавшуюся, по крайней мере, 40 лет) полемику в советской (и российской) статистике между «идеологическими пуристами» и «прагматиками»,

которая в 1980-е гг. значительно усилилась. Существование разногласий, безусловно, не является новым явлением среди статистиков и в определённой степени оно носит здоровый характер, способствуя выработке критического отношения к предмету. Полемика в 80-х затрагивает суть предмета в отличие от более ранних этапов, когда она отличалась идеологической направленностью. В 1950–1960-е, в период хрущёвской оттепели, когда в СССР более свободно начали публиковать статистические данные, в журнале “The American Statistician” («Американский статистик») — органе Американской статистической ассоциации — было опубликовано несколько статей, посвящённых различным аспектам советской статистики, как организационным, так и затрагивающим существо предмета.

Вопросы развития статистики в СССР с 1917 по 1964 гг. довольно подробно освещены в статьях С. Котца [331, 332]. В них речь идёт, прежде всего, о борьбе двух противоположных мнений по вопросу о роли и содержании статистической науки в СССР. Между официальными статистиками Центрального статистического управления (ЦСУ, затем Госкомстат, ныне Росстат) и статистиками — экономистами математической направленности во главе с В. С. Немчиновым (1890–1964) возникли разногласия.

Официальные статистики считали, что статистика представляет собой описательную науку, в задачи которой входит сбор данных по плановой экономике, и что в условиях коммунизма статистику, в конечном счёте, заменит простая бухгалтерия. Противоположных взглядов придерживались практики и статистики теоретической направленности. Они считали, что статистика и теория вероятностей важны в любой области. В 1954 г. на Всесоюзном научном совещании по теоретическим вопросам статистики (см. о нем в [273, с. 243–247]), в работе которого приняли участие ведущие учёные, известный советский математик А. Н. Колмогоров (1903–1987) помог представителям этих двух противостоящих школ прийти к прагматическому компромиссу. На совещании 1954 г. было заявлено, что статистика является самостоятельной общественной наукой и что «она изучает количественный аспект массовых социальных явлений в неразрывном единстве с их качественным аспектом» (см. [332]). Был сделан вывод, что советскую статистику от «буржуазной» статистики отличает акцент на качественном аспекте явлений. Для «буржуазной» статистики, согласно официальной оценке в Советском Союзе, характерен формальный, чисто математический подход к изучению социальных явлений, при котором количественный показатель рассматривается отдельно от качественной основы.

Однако на математическую статистику как часть математики «официальные статистики» покусаться не решились, поскольку математическая статистика использовалась для решения задач обороноспособности страны. Вместе с тем статистические методы в промышленности и технических исследованиях, в медицине, химии, геологии, экономике, управлении (менеджменте), социологии, психологии, истории и в других конкретных областях остались вне официальной структуры науки и образования. В результате решений совещания 1954 г. работы по этим направлениям шли под иными именами. Использовались термины типа «экономическая кибернетика», «математическое моделирование в медицине» и др. Недаром сборник «Современные проблемы кибернетики (прикладная статистика)» [290], с момента выхода которого (1981) говорим о самостоятельности прикладной статистики, имеет название, свидетельствующее о «крыше» нашей науки. В данном случае «крыша» — это кибернетика, а в организационном плане — Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика».

Соответственно в вузах не велась подготовка специалистов по статистическим методам в конкретных областях. В результате констатируем отставание на порядок от англоговорящих стран по числу специалистов. В США статистиков больше, чем математиков, а у нас создание Лаборатории статистических методов под руководством А. Н. Колмогорова со штатом в 130 человек рассматривалось как большой успех. В то время в Индии, в институте, которым руководил один из классиков статистической науки Прасанта Чандра Махаланобис, работало около 2000 человек [89, с. 271], т. е. больше, чем во всём Советском Союзе.

Появление статьи [332] совпало с расцветом полупериодического журнала «Учёные записки по статистике» под редакцией В. С. Немчинова (т. е. серии сборников статей, выпускавшихся издательствами «Наука», «Статистика», «Финансы и статистика»). Всего с 1955 по 1992 г. опубликовано 56 выпусков «Учёных записок по статистике».

В некоторых из этих сборников публиковали свои статьи статистики математической ориентации. Многие из них — выпускники и кандидаты наук престижной школы теории вероятностей и математической статистики при МГУ им. М. В. Ломоносова, которую первоначально возглавлял А. Н. Колмогоров, и такой же школы при Ленинградском университете, во главе которой некоторое время стоял Ю. В. Линник. Эти учёные работали в больших городах, в различных институтах, занимающихся вопросами применения прикладной статисти-

стики. Учёные выполняли ориентированные на практическое применение работы в прикладном многомерном статистическом анализе, теории управления запасами и т. д., однако создаётся впечатление, что они испытывали желание заниматься вопросами, носящими более математический характер. Такая тенденция нашла своё отражение на страницах сборников «Учёные записки по статистике», в которых постепенно, но постоянно начали публиковать статьи математического и абстрактного характера. Это вызвало недовольство среди статистиков различных научно-исследовательских институтов и вузов, связанных с органами официальной государственной статистики (в то время — ЦСУ).

В 1983 г. в издательстве «Наука» вышел в свет 45 том «Учёных записок по статистике», который был скромно озаглавлен «Прикладная статистика» [275]. И разразился скандал. Опишем ход развития полемики, проанализировав содержание четырёх писем редактору, которые были опубликованы с октября 1985 г. по июль 1987 г. в ежемесячном журнале «Вестник статистики» — органе ЦСУ, следуя [333].

В ответ на публикацию в сборнике «Учёные записки по статистике» многочисленных математических статей абстрактного характера К. Тимофеев (псевдоним Т. Козлова, заведующего кафедрой статистики Московского института инженеров транспорта (МИИТ)) написал сердитое письмо под заголовком «Что же такое прикладная статистика?» [293]. Он утверждал, что термин «прикладная статистика» является абсурдным, так как то, что она якобы описывает, является одной из областей статистической науки, а не новым направлением. Тимофеев заявил: «Из содержания представленных в 45-м томе статей становится совершенно очевидным: название «Прикладная статистика» использовано для того, чтобы в «Учёных записках по статистике» опубликовать материалы, которые к ней (т. е. к статистике) не имеют ни прямого, ни даже косвенного отношения» [293, с. 66]. Кроме этого, он выразил несогласие с рядом приведённых в сборнике математических формул и абстрактных концепций. В частности, он привёл цитату из статьи, в которой говорится, что статья посвящена «измеримым отображениям произвольного вероятностного пространства в множество непустых компактов плоскости, снабжённое метрикой Хаусдорфа» (метрика Хаусдорфа — одно из расстояний между множествами; критикуемая статья была озаглавлена «Статистика случайных множеств»). Тимофеев не только не захотел перенестись «в другое измерение», он подверг автора этой статьи критике за то, что он в своей статье сослался на работы зарубежных учёных, а не на работы классиков марксизма-ленинизма и советские статистические источники,

а также за то, что он написал работу, не связанную с реальной жизнью. Он с неодобрением указал, что авторы статей, публикуемых в «Учёных записках по статистике», часто ссылаются на свои собственные работы. Он написал: «Создаётся впечатление, что книга «Прикладная статистика» использована не только для публикации не относящихся к статистике материалов, но и для рекламы и саморекламы некоторых математиков, решивших снискать себе славу в области экономики и статистики» [293, с. 67]. Тимофеев признал, что эти статьи могут представлять определённый интерес для математиков, однако он полагал, что они вряд ли будут полезны в практической работе тем специалистам, на службе у которых, по его мнению, должна быть статистическая наука, а именно статистикам, экономистам и социологам.

Через десять месяцев журнал «Вестник статистики» опубликовал ответ [109] на выступление Тимофеева. Один из авторов, которых критиковал Тимофеев, А. Орлов, написал ответ в таком же резком тоне, и он был опубликован в официальном органе ЦСУ. В своей статье, перед которой было напечатано вступление от редакции, Орлов пункт за пунктом критиковал позицию Тимофеева. Орлов представил себя, как современного статистика. Он написал, что Тимофеев запутался и не знаком с переменами, которые произошли в статистике. Он отметил, что термин «прикладная статистика» не является ни новым, ни редко употребляемым. Он широко используется специалистами различных учреждений по всей стране и в зарубежных странах. Он провёл грань между математической статистикой и прикладной статистикой, добавив, что прикладная математическая статистика является «неотъемлемой частью» прикладной статистики, а прикладная математическая статистика наряду с аналитической статистикой (т. е. частью математической статистики, ориентированной на решение внутриматематических проблем, например, характеристических задач [26]), составляют математическую статистику, которая является одной из областей математики. Однако Орлов подчеркнул, что прикладная статистика включает и нематематические области, такие как «методология организации и проведения прикладного статистического исследования и применения его результатов (как планировать исследование, как выбирать вероятностно-статистическую модель, как собирать данные, как подготавливать их к обработке, как представлять результаты обработки и т. д.), а также соответствующее программное обеспечение» [109, с. 54].

Далее он указал, что интенсивное использование компьютеров в прикладной статистике свидетельствует о том, что в действительности её можно рассматривать как часть кибернетики.

Орлов привёл много примеров использования прикладной статистики в народном хозяйстве, сделав акцент на планировании эксперимента и контроле качества. Он отметил, что благодаря прикладной статистике была получена большая экономия финансовых средств: «Высокая эффективность прикладной статистики естественна — она родилась из практических нужд» [109, с. 54]. Он охарактеризовал большой вклад в практическую работу, который внесли многие из тех статей, которые Тимофеев высмеял за абстрактные заголовки. В заключение статьи он привёл таблицу, из которой видно, что учёные, публикующие свои работы в «Учёных записках по статистике» (конкретно, в 45 томе, критикуемом Тимофеевым), чаще ссылаются на работы советских авторов, чем зарубежных. Орлов подчеркнул, что эти авторы опираются на опыт своей практической работы, а не повторяют ранее опубликованный материал. Он составил эту таблицу на основе советского реферативного журнала «Математика», в котором «советские публикации составляют 1/6 мировых публикаций по прикладной статистике, реферируемых за год» [109, с. 56].

Однако, по-видимому, редакторов журнала «Вестник статистики» не убедили доводы Орлова. В дополнение к его письму они напечатали своё заявление о том, что письмо Тимофеева было опубликовано для того, чтобы показать, что сборник «Учёные записки по статистике» перестал отвечать своей цели и превратился в математический журнал и что содержание статей в сборнике «Прикладная статистика» (том 45 «Учёных записок по статистике») не отвечает названию сборника. Более того, редакторы добавили, что находят доводы Тимофеева убедительными. Выступив с критикой письма Орлова, они упрекнули его за то, что он пытается «опровергнуть содержание письма К. Тимофеева, а заодно изобразить его автора как человека, не сведущего в делах, которыми занимается А. Орлов, а с ним и ряд других математиков» [109, с. 57]. Они продолжали утверждать, что многие леммы и теоремы, которыми оперируют Орлов и его коллеги, не используются в практической работе. В частности, они проявили упорное желание узнать, «каков экономический эффект (в миллионах рублей), который удалось извлечь из шума при помощи измеримых отображений «произвольного вероятностного пространства в множество непустых компактов плоскости, снабжённое метрикой Хаусдорфа» [109, с. 57]. Касаясь ссылок на работы зарубежных авторов, редакторы отметили, что из таблицы Орлова видно, что учёные действительно ссылаются на зарубежные источники, и таким образом они приходят к выводу, что их утверждение верно. Обширные политизированные тексты «редакторов», весьма враждебные, но не под-

писанные, демонстрируют распространённые в то время — да и сейчас — приёмы борьбы, используемые врагами современной науки.

Подтверждением того, что спорные вопросы ещё не решены, по крайней мере, в умах читателей, явилась публикация третьего письма, написанного Н. Шереметом [326]. Её автор, доцент Московского института инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ), придерживается умеренных взглядов по вопросу об определении прикладной статистики и её роли. В начале своего письма он отметил, что Тимофеев не ответил на свой собственный вопрос: «Что же такое прикладная статистика?». По мнению Шеремета, прикладные науки являются связующим звеном между чисто «инженерными» работами и научными исследованиями или чистой наукой. Он выступил в защиту необходимости стадии «корректировки» или «подстройки» между стадиями научных изысканий и применением научных теорий на практике. Затем он привёл хорошо известное мнение Большева о том, что вся статистика является прикладной (Л. Н. Большев высказал это мнение в личной беседе с А. И. Орловым, цитата была включена в статью [109]), но не поддержал это утверждение, так как оно является слишком широким обобщением. Затем Шеремет проанализировал точку зрения, что каждая наука имеет свою собственную статистику (например, физическая статистика и биологическая статистика), но отверг ее, так как она противоречит мнению Ф. Энгельса, высказанному при подобных обстоятельствах в связи с механикой, физикой и химией. Шеремет критиковал Орлова за примеры из области экономики, так как эти примеры могли привести к ошибочному — по мнению Шеремета — предположению, что прикладная статистика является универсальной наукой.

Шеремет настаивал на определении статистики как общественной науки, однако признал возможность использования прикладной статистики в её собственной области. Шеремет написал в свойственных ему неопределённых выражениях:

«Можно предположить, что предметом данной научной дисциплины являются «статистические данные»... Здесь уже не важно, от какого реального явления отвлечены данные абстрактные понятия... Математическая идеализация «статистических данных» и операций над ними даёт возможность сводить известное разнообразие связей и закономерностей конкретной практической области к их определённому классу, производить необходимые расчёты» [326, с. 69].

Он заявил, что прикладная статистика пока ещё не является — по его мнению — чётко определённой областью, и в заключение написал, что «прикладной статистике» в большей степени присущи черты меж-

дисциплинарных исследований, чем исследований, проводимых в рамках самостоятельной дисциплины [326, с. 71].

В письме Шеремет допустил несколько неточностей, граничащих с дезинформацией. Он, кажется, не знает, что с 1973 г. журнал «Анналы статистики» (“The Annals of Statistics” — один из основных западных статистических журналов) является непосредственным продолжением журнала «Анналы математической статистики» (“Annals of Mathematical Statistics”). Он также не делает разницы между узким техническим термином «статистика» (как функция от результатов наблюдений) и термином «статистика» (как наука и методология). Ссылка на элементарный учебник Вайнберга и Шумахера 1969 г. [338] как на образцовую современную монографию по прикладной статистике в лучшем случае вызывает сомнение.

Показательным является сам факт публикации подобного письма без редакционного комментария в советском консервативном журнале по статистическим наукам — в журнале, который со времени своего возрождения в 1949 г. стал выразителем позиций официальных статистиков (многие из них строго придерживаются марксистско-ленинской ориентации), рассматривающих статистику только как описательную науку.

На страницах «Вестника статистики» письмо Шеремета было не единственным откликом на полемику между Тимофеевым и Орловым. По всей видимости, независимо от письма Шеремета, в июле 1987 г. «Вестник статистики» опубликовал письмо И. Манделя [65], доцента Института народного хозяйства в Алма-Ате (Казахстан). В качестве комментария на письма Тимофеева и Орлова Мандель составил развёрнутую схему, отражающую взаимосвязь теории статистики, прикладной статистики и математической статистики. Эта схема была представлена наряду с шестью другими методологическими приёмами, чтобы показать, какое влияние оказывают теория статистики, прикладная статистика и математическая статистика на методы исследования массовых явлений. Главным в его доводах является положение о том, что в то время, как «теория статистики» в основном отражает «социальную сферу» массовых процессов, прикладная статистика должна быть направлена на отражение массовых явлений любого характера. Таким образом, прикладная статистика должна являться своего рода «буферной наукой», которая переводит результаты математической статистики на язык, понятный исследователям в различных областях науки и практики. Он высказал сожаление по поводу существующих расхождений во взглядах между чистыми математическими статистиками и чистыми «прикладными» и обратил внимание на мно-

гочисленные примеры неправильного использования статистической методологии. Он приветствовал усилия математиков (в СССР и за рубежом), направленные на ликвидацию разрыва между математикой и реальным миром. В заключение он посоветовал называть прикладную статистику в значении «буферной науки» «прикладной математической статистикой». На конкретный вопрос о том, является ли сборник «Учёные записки по статистике» подходящим изданием для публикации статей по прикладной (математической?) статистике, он даёт категорический отрицательный ответ, полностью совпадающий с мнением Тимофеева по этому вопросу. Мандель составил таблицу, согласно которой в 4 выпусках «Записок» (1978–1985), подготовленных прикладными статистиками, опубликовано 85 статей (общий объём — 1092 с.). Из них 62 статьи (787 с.), т. е. почти три четверти, по его мнению, по своему содержанию больше подходили для публикации в известном советском журнале «Теория вероятностей и её применения», так как были посвящены чисто математическим результатам и написаны в виде последовательности теорем и доказательств. Мандель, увы, не знал, что к тому времени редколлегия и авторы журнала «Теория вероятностей и её применения» уже полностью оторвались от практики анализа статистических данных. По мнению Манделя, отличительной чертой прикладной статистики является отсутствие доказательств; для неё характерны только ссылки на теоремы и обсуждение вопросов «истинно» прикладного характера.

Обсуждение было продолжено в феврале 1988 г. (уже после подготовки американцами статьи [333]), когда в очередном выпуске «Вестника статистики» было опубликовано письмо болгарского профессора, специалиста по статистике В. Цонева [312]. Он предлагает коренным образом изменить терминологию, связанную со всей статистической наукой.

Назрела перестройка в области статистики. «Перестройка» в политике (в СССР) отразилась и в области статистики. Это проявилось не только в публикации новых статистических данных по промышленному травматизму, алкоголизму, преступности и т. д., но также и в координации работы многочисленных учреждений, занимающихся обработкой статистических данных. Реорганизация ЦСУ явилась ещё одним свидетельством озабоченности правительства недостатками в данной области. К примеру, статистические данные, связанные с производством чёрных металлов, собирались и обрабатывались тремя учреждениями — Госпланом, ЦСУ и Институтом экономики Министерства чёрной металлургии. На Всесоюзной конференции статистиков в мае 1985 г. выяснилось, что данные по прокату чёрных ме-

таллов, поступающие из этих трёх источников, «совершенно разные» [67]. В феврале 1987 г. советский литературно-художественный журнал «Новый мир» выступил с открытой и резкой критикой отсутствия достоверных статистических данных. Несколько статистиков, среди них — Н. Шерemet и Т. Козлов, заведующий кафедрой статистики МИИТ — выступили с резким опровержением.

Дискуссии продолжаются и сейчас, поскольку ситуация в XXI в. аналогична — статистические данные разных ведомств и организаций не совпадают.

Как отмечено в [333], разногласия между учёными, о которых говорилось выше, характерны не только для Советского Союза. Американские и другие западные статистики также сталкиваются с проблемой определения роли прикладной статистики и, в более широком плане, с проблемой определения статистики как науки.

2.5. Попытки объединения отечественных статистиков

В марте 1989 г. в Центральном экономико-математическом институте АН СССР состоялся Всесоюзный круглый стол «Статистика и перестройка», на котором собрались представители различных направлений в статистике — впервые в современной отечественной истории! Выступления были опубликованы в виде 55 тома «Учёных записок по статистике» [291].

Высшей точкой общественного движения, ставящего целью объединение отечественных статистиков, было создание в 1990 г. Всесоюзной статистической ассоциации (ВСА), объединившей статистиков всех направлений — специалистов по прикладной и математической статистике, по надёжности (в основном представителей оборонно-промышленного комплекса), преподавателей экономико-статистических дисциплин, работников официальной государственной статистики (см., например, [116, 117]). Ведущую роль в создании ВСА сыграли работники Всесоюзного центра статистических методов и информатики, созданного автором данной монографии в 1989 г. Наша платформа была изложена в статье [115], опубликованной, несмотря на её весьма резкую форму, в «Вестнике статистики». Устав ВСА, решения Учредительного съезда и Пленума правления ВСА предусматривали различные формы работы [299].

В ходе дискуссий при создании ВСА были выработаны основные положения новой парадигмы прикладной статистики (см. [149] и соответствующую главу ниже). В рамках этой парадигмы в течение даль-

нейших 35 лет были выполнены многочисленные исследования, в частности, развивались статистика объектов нечисловой природы [162], статистика интервальных данных [163], затем была сформирована системная нечёткая интервальная математика [254, 255].

Однако в конце 1991 г. СССР прекратил своё существование. ВСА, как и другие союзные организации, перестала действовать. И наметившееся единство статистиков распалось. Госкомстат РФ полностью «закрылся» от статистической науки, перестал даже отвечать на обращения профессиональных статистических организаций. Одновременно произошёл окончательный отрыв специалистов по математической статистике от практики. В настоящее время журнал «Теория вероятностей и её применения» не представляет никакого интереса для тех, кто обрабатывает конкретные данные. При этом публикации работ по математической статистике почти прекратились. Поэтому целесообразно вспомнить мнение Л. Н. Большева и принять, что прикладная статистика — это и есть математическая статистика (см. [159]). Как важное продвижение отметим выпуск в 1999 г. энциклопедии «Вероятность и математическая статистика» [9], содержащей массу полезной информации для специалистов по статистическим методам. Она была подготовлена ещё в 1980-е гг.

Работы по прикладной статистике и другим статистическим методам продолжались и после развала СССР. В частности, они велись в рамках Российской ассоциации статистических методов (созданной на базе одноименной секции ВСА) и Российской академии статистических методов, а также в рамках Белорусской статистической ассоциации. Важные работы были выполнены в Узбекистане, в частности, научной школой профессора А. А. Абдушукурова.

Основным местом публикации отечественных работ по статистическим методам является раздел «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», созданный в 1962 г. Б. В. Гнеденко и В. В. Налимовым. В нем за более чем 60 лет помещено более 1000 статей по различным направлениям прикладной статистики, прежде всего по статистическому анализу числовых величин, статистике нечисловых данных, многомерному статистическому анализу, планированию эксперимента, опыту применения статистических методов при решении конкретных прикладных задач.

Глава 3

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИКЛАДНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

В настоящей главе проведён анализ послевоенного развития отечественной статистики. Выделены пять «точек роста»: непараметрика, робастность, бутстреп, статистика интервальных данных, статистика нечисловых данных. Обсуждается содержание, развитие и основные идеи статистики объектов нечисловой природы. Рассмотрен ряд нерешённых проблем теоретической и прикладной статистики.

Математические результаты объективны. Теорема либо доказана, либо нет. А вот о значении тех или иных результатов споры возникают. Тем более трудно настаивать на полной объективности выводов, рассуждая о развитии всей статистической науки. Поэтому жанр этой главы — субъективный анализ состояния и перспектив развития нашей научной области.

Интерес к рассматриваемой тематике возник у автора данной монографии в 1970-х гг., проявившись в создании нами подкомиссии «Статистика объектов нечисловой природы» Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика». Позже на Учредительном съезде Всесоюзной статистической ассоциации (ВСА) в октябре 1990 г. коллеги выбрали А. И. Орлова вице-президентом ВСА, председателем секции статистических методов.

С 1970-х гг. приходилось обдумывать ситуацию в статистике. Конкретные результаты собраны в монографиях [129, 133, 134] и др., которые можно рассматривать и как учебники (см. также книги и статьи на сайте «Высокие статистические технологии» <http://orlovs.pp.ru>). Конкретные научные результаты, включая доказательства теорем, публиковались в научных журналах, таких, как «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», «Научный журнал КубГАУ», периодические сборники научных трудов «Статистические методы оценивания и проверки гипотез», «Учёные записки по статистике». А общие соображения — методологическая основа ведущихся работ — рассмотрены в этой главе и других разделах и главах данной монографии. Для изложения общего подхода, методологии математических методов исследования она и написана. В частности, именно поэтому в ней практически нет формул.

3.1. Послевоенное развитие отечественной статистики

К 1960-м гг. в нашей стране сформировалась научно-практическая дисциплина, которую называем классической математической статистикой. Статистики послевоенного поколения нашего круга учились теории прежде всего по книге Г. Крамера [53], написанной в военные годы и впервые изданной у нас в 1948 г. Из прикладных руководств назовём учебник [289] и таблицы с комментариями [5].

Затем внимание многих специалистов сосредоточилось на изучении математических конструкций, используемых в статистике. Примером таких работ является монография [26]. В ней получены продвинутые математические результаты, но нет никаких рекомендаций, которые мог бы использовать статистик, анализирующий конкретные данные наблюдений, измерений, испытаний, анализов, опытов, обследований.

Как реакция на уход в чистую математику значительной части специалистов была выделена новая научная дисциплина — прикладная статистика. В учебнике [133] в качестве рубежа, когда это стало очевидным, мы указали 1981 г. — дату выхода массовым тиражом (33 940 экз.) сборника [290], в названии которого использован термин «прикладная статистика». С этого времени линии развития математической статистики и прикладной статистики разошлись. Первая из этих дисциплин полностью ушла в чистую математику, перестав интересоваться практическими делами. Вторая позиционировала себя в качестве науки об обработке данных — результатов наблюдений, измерений, испытаний, анализов, опытов, обследований.

Вполне естественно, что в прикладной статистике стали возникать и развиваться свои новые математические методы и модели. Необходимость их появления вытекает из потребностей конкретных прикладных исследований. Это математизированное ядро прикладной статистики целесообразно назвать теоретической статистикой. Тогда под собственно прикладной статистикой следует понимать обширную промежуточную область между теоретической статистикой и применением статистических методов в конкретных областях. В неё входят, в частности, вопросы формирования вероятностно-статистических моделей и выбора конкретных методов анализа данных (т. е. методология прикладной статистики и других статистических методов), проблемы разработки и применения информационных (компьютерных) статистических технологий, организации сбора и анализа данных, т. е. разработки статистических технологий.

Таким образом, общая схема современной статистической науки выглядит, как уже сказано, следующим образом (от абстрактного к конкретному).

1. Математическая статистика — часть математики, изучающая статистические структуры. Сама по себе не даёт рецептов анализа статистических данных, однако разрабатывает методы, полезные для использования в теоретической статистике.

2. Теоретическая статистика — наука, посвящённая моделям и методам анализа конкретных статистических данных.

3. Прикладная статистика (в узком смысле) посвящена статистическим технологиям сбора и обработки данных. Она включает в себя методологию статистических методов, вопросы организации выборочных исследований, разработки статистических технологий, создания и использования статистических программных продуктов.

4. Применения статистических методов в конкретных областях (в экономике и менеджменте — это эконометрика, в биологии — биометрика, в химии — хеометрия, в технических исследованиях — технометрика, в геологии, демографии, социологии, медицине, истории и т. д.).

Часто позиции 2 и 3 вместе называют прикладной статистикой. Иногда позицию 1 именуют теоретической статистикой. Эти терминологические расхождения связаны с тем, что описанное выше развитие рассматриваемой научно-прикладной области не сразу, не полностью и не всегда адекватно отражается в сознании специалистов. Так, до сих пор выпускают учебники, соответствующие уровню представлений середины XX в.

Примечание. Здесь мы уточнили схему внутреннего деления статистической науки, предложенную в [115]. Естественный смысл приобрели термины «теоретическая статистика» и «прикладная статистика» (в узком смысле). Однако необходимо иметь в виду, что в базовом учебнике [133] прикладная статистика понимается в широком смысле, т. е. как объединение позиций 2 и 3. К сожалению, в настоящее время невозможно отождествить теоретическую статистику с математической, поскольку последняя (как часть математики — научной специальности «Теория вероятностей и математическая статистика») полностью оторвалась от задач практики. Поскольку математическая статистика клонится к закату, число специалистов уменьшается, публикации становятся крайне специализированными и всё более оторванными от практики, то через некоторое время можно будет обдумывать вопрос о том, чтобы прикладную статистику снова назвать математической. Тогда станут актуальны-

ми пророческие слова Л. Н. Большева о том, что «вся математическая статистика является прикладной». Может быть, это время уже пришло? И на новом витке диалектической спирали развития науки мы возвращаемся к классификации столетней давности областей исследования?

Отметим, что математическая статистика, как и теоретическая с прикладной, не имеет ничего общего с ведомственной наукой органов официальной государственной статистики. Эти органы, именовавшиеся последовательно ЦСУ, Госкомстат, Росстат, применяли и применяют лишь проверенные временем приёмы позапрошлого века. Возможно, следовало бы от этого ведомства отмежеваться полностью и сменить название дисциплины, например, на «Анализ данных». Такое кардинальное решение, к сожалению, сделало бы неясным положение сотен тысяч публикаций, в названиях которых есть слова «статистика» или «статистический». В настоящее время компромиссным самоназванием нашей научно-практической дисциплины является термин «статистические методы». Отметим, что часть специалистов использует термин «интеллектуальный анализ данных». Он является синонимом к термину «прикладная статистика». Роль смены терминологии в развитии науки подробно обсуждается в статье [229].

Во второй половине 1980-х гг. развернулось общественное движение, имеющее целью создание профессионального объединения статистиков (об этом движении подробнее рассказано в главе 2 выше). Аналогами являются британское Королевское статистическое общество (основано в 1834 г.) и Американская статистическая ассоциация (создана в 1839 г.). К сожалению, деятельность учреждённой в 1990 г. Всесоюзной статистической ассоциации оказалась парализованной в результате развала СССР. Как уже говорилось, некоторую активность проявляли созданные на базе ВСА Российская ассоциация статистических методов, Российская академия статистических методов, Белорусская статистическая ассоциация. Пришло время оживить их деятельность. В дальнейшем (уже в XXI в.) большие ежегодные конференции проводились в Ташкенте (см., например, материалы III научно-практической конференции «Статистика и её применения» [71]). Это вселяет надежду на будущее пробуждение активности сообщества специалистов по статистическим методам.

В ходе создания ВСА было проанализировано состояние и перспективы развития теоретической и прикладной статистики. Обсудим их.

3.2. Новые идеи последних десятилетий: точки роста

В работе [124] впервые выделены пять актуальных направлений, в которых развивается современная прикладная статистика, т. е. пять «точек роста» статистической науки. Это непараметрика, робастность, бутстреп, интервальная статистика, статистика объектов нечисловой природы (см. также [182, 256]). Кратко обсудим эти актуальные направления.

Непараметрика, т. е. непараметрическая статистика [192], позволяет делать статистические выводы, оценивать характеристики и плотность распределения, проверять статистические гипотезы без обычно слабо обоснованных предположений о том, что функция распределения элементов выборки входит в то или иное параметрическое семейство. Например, широко распространена вера в то, что статистические данные часто подчиняются нормальному распределению. Математики думают, что это — экспериментальный факт, установленный в прикладных исследованиях. Прикладники уверены, что математики доказали нормальность результатов наблюдений. Между тем анализ конкретных результатов наблюдений, в частности, погрешностей измерений, приводит всегда к одному и тому же выводу — в подавляющем большинстве случаев реальные распределения существенно отличаются от нормальных [133]. Некритическое использование гипотезы нормальности часто приводит к значительным ошибкам, например, при отбраковке резко выделяющихся результатов наблюдений (выбросов), при статистическом контроле качества и в других случаях [129]. Поэтому для анализа статистических данных целесообразно использовать непараметрические методы, в которых на функции распределения результатов наблюдений наложены только весьма слабые требования. Обычно предполагается лишь их непрерывность. К настоящему времени с помощью непараметрических методов можно решать практически тот же круг задач, что ранее решался параметрическими методами [189, 192]. Однако эта информация ещё не вошла в массовое сознание. До сих пор тупиковой тематике параметрической статистики посвящены обширные разделы учебников и программных продуктов.

Основная идея работ по робастности, или устойчивости, состоит в том, что выводы, полученные на основе математических методов исследования, должны мало меняться при небольших изменениях исходных данных и малых отклонениях от предпосылок модели [103, 230]. Здесь есть два круга задач [142, 176]. Один — это изучение

устойчивости широко применяемых на практике алгоритмов анализа данных. Второй — поиск робастных алгоритмов для решения тех или иных задач. Отметим, что сам по себе термин «робастность» не имеет точно определённого смысла. Всегда необходимо указывать конкретную вероятностно-статистическую модель. При этом популярная модель «засорения» Тьюки — Хубера — Хампеля обычно не является практически полезной. Дело в том, что она ориентирована на «утяжеление хвостов», а в реальных ситуациях «хвосты» распределений обрезаются априорными ограничениями на результаты наблюдений, связанными, например, с ограниченностью шкал используемых средств измерения.

Бутстреп — направление непараметрической статистики, опирающееся на интенсивное использование информационных технологий [110]. Основная идея состоит в «размножении выборок», т. е. в получении набора из многих выборок, напоминающих полученную в эксперименте. По такому набору можно непосредственно изучить свойства различных статистических процедур, не прибегая к излишне обременительным (а чаще и необоснованным) семействам вероятностно-статистических моделей. Простейший способ «размножения выборки» состоит в исключении из неё одного результата наблюдения. Исключаем первое наблюдение, получаем выборку, похожую на исходную, но с объёмом, уменьшенным на 1. Затем возвращаем исключённый результат первого наблюдения, но исключаем второе наблюдение. Получаем вторую выборку, похожую на исходную. Затем возвращаем результат второго наблюдения и исключаем третий и т. д.

Есть и иные способы «размножения выборок». Например, можно по исходной выборке построить ту или иную оценку функции распределения, а затем методом статистических испытаний смоделировать ряд выборок из элементов, функция распределения которых совпадает с этой оценкой. Обобщая, можно сказать, что к настоящему времени в дополнение к классическим инструментам прикладной статистики — предельным теоремам теории вероятностей — добавились новые, основанные на интенсивном использовании компьютеров [183]. Бутстреп — лишь один из таких инструментов. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) — вот партнёр и конкурент асимптотическим методам математической статистики.

Интервальная статистика — это совокупность методов анализа интервальных статистических данных. Вполне очевидно, что все средства измерения имеют погрешности. Однако до недавнего времени это очевидное обстоятельство никак не учитывалось в статистических процедурах. Только недавно начала развиваться теория интер-

вальной статистики, в которой предполагается, что исходные данные — это не числа, а интервалы. Интервальную статистику можно рассматривать как часть интервальной математики. Выводы в ней часто принципиально отличны от классических. Основные результаты статистики интервальных данных рассмотрены в статьях [163, 187], а подробные изложения включены в учебники [133, 134, 226], а также в монографию [254].

3.3. Статистика объектов нечисловой природы

Перейдём к статистике объектов нечисловой природы (она же — статистика нечисловых данных, или нечисловая статистика) [218, 226]. Сначала напомним, что типичный исходный объект в прикладной статистике — это выборка, т. е. совокупность независимых одинаково распределённых случайных элементов. Какова природа этих элементов? В классической математической статистике элементы выборки — это числа. В многомерном статистическом анализе — векторы. 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 (т. е. не являющихся линейными).

Примерами объектов нечисловой природы являются:

- значения качественных признаков, в том числе результаты кодировки объектов с помощью заданного перечня категорий (градаций);
- упорядочения (ранжировки) экспертами образцов продукции (при оценке её технического уровня, качества и конкурентоспособности) или заявок на проведение научных работ (при проведении конкурсов на выделение грантов);
- классификации, т. е. разбиения объектов 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 определённой области науки;
- результаты парных сравнений или контроля качества продукции по альтернативному признаку («годен» — «брак»), т. е. последовательности из 0 и 1;
- графы различных видов (неориентированные, ориентированные, с весами, иерархические структуры и т. п.);

- множества (обычные или нечёткие), например, зоны, поражённые коррозией, или перечни возможных причин аварии, составленные экспертами независимо друг от друга;
- слова, предложения, тексты;
- векторы, координаты которых — совокупность значений разнотипных признаков, например, результат составления статистического отчёта о научно-технической деятельности организации или анкета эксперта, в которой ответы на часть вопросов носят качественный характер, а на часть — количественный;
- ответы на вопросы экспертной, медицинской, 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 многие другие виды данных.

Рассмотренные выше интервальные данные тоже можно рассматривать как пример объектов нечисловой природы, а именно, как частный случай нечётких множеств. Если характеристическая функция нечёткого множества равна 1 на некотором интервале и равна 0 вне этого интервала, то задание такого нечёткого множества эквивалентно заданию интервала. Существенно, что теория нечётких множеств в определённом смысле сводится к теории случайных множеств. Цикл соответствующих теорем приведён в работах [103, 160], а также в учебниках [129, 133, 134], монографии [254].

С 1970-х гг. в основном на основе запросов теории экспертных оценок [121, 161, 227] (а также технических исследований, экономики, социологии и медицины) развивались различные направления статистики объектов нечисловой природы. Были установлены основные связи между конкретными видами таких объектов, разработаны для них базовые вероятностные модели. Сводка результатов 1970-х гг. дана в монографии [103]. Сам термин «статистика объектов нечисловой природы» (в некоторых дальнейших публикациях использованы синонимы — «нечисловая статистика», «статистика нечисловых данных») впервые появился в 1979 г. в [103].

Следующий этап (1980-е) — выделение статистики объектов нечисловой природы в качестве самостоятельной дисциплины в рамках математических методов исследования, ядром которого являются методы статистического анализа данных произвольной природы. Для работ этого периода характерна сосредоточенность на внутренних проблемах нечисловой статистики.

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 теоретико-статистических исследований к применению полученных результатов на практике и включить их в учебный процесс, что и было сделано уже в XXI в. (см., например, учебники [129, 133, 134]).

Следует отметить, что в статистике объектов нечисловой природы одна и та же математическая схема может с успехом применяться во многих прикладных областях, для анализа данных различных типов, а потому её лучше всего формулировать и изучать в наиболее общем виде, для объектов произвольной природы.

3.4. Основные идеи статистики объектов нечисловой природы

В чем принципиальная новизна нечисловой статистики? Для классической математической статистики характерна операция сложения. При расчёте 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 удастся указать вид средних величин, соответствующих тем или иным шкалам измерения [103]. В классической математической статистике средние величины вводят с помощью операций сложения (выборочное среднее арифметическое, ма-

тематическое 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 берётся по эмпирическому распределению, т. е. берётся сумма расстояний от некоторой точки до элементов выборки и затем минимизируется по этой точке [158]. 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, определённых указанным образом, т. е. установить сходимость (в специально разработанном смысле) эмпирических средних к теоретическим [129, 133].

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 [226]. 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 [173, 193].

Дискриминантный, кластерный, регрессионный анализы в пространствах произвольной природы основаны либо на параметрической теории — и тогда применяется подход, связанный с асимптотической решения экстремальных статистических задач — либо на непараметрической теории — и тогда используются алгоритмы на основе непараметрических оценок плотности.

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 (завершённый, изящный) вид именно для пространств произвольного вида, поскольку при этом удалось провести необходимые рассуждения, опираясь на базовые математические соотношения, а не на те частные (с общей точки зрения), что были связаны с конечномерным пространством [178].

Представляют практический интерес результаты, связанные с конкретными областями статистики объектов нечисловой природы [181] и соответствующими математико-статистическими моделями порождения нечисловых данных [191]. В частности, со статистикой нечётких множеств и со статистикой случайных множеств (эти две области связаны между собой, поскольку теория нечётких множеств в определённом смысле сводится к теории случайных множеств). А также в связи с непараметрической теорией парных сравнений и люсианов (бернуллиевских бинарных векторов) [180], с аксиоматическим введением метрик в конкретных пространствах объектов нечисловой природы [179], а также с рядом других конкретных постановок.

Для анализа нечисловых, в частности, экспертных данных весьма важны методы классификации [169]. Констатируем, что 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) [174, 196].

3.5. О некоторых нерешённых проблемах теоретической и прикладной статистики

За каждым новым научным результатом открывается многообразие неизвестного. Рассмотрим несколько конкретных постановок.

В статистике в пространствах общей природы получены аналоги классического закона больших чисел. Но нет аналога Центральной

предельной теоремы. Какова скорость сходимости эмпирических (выборочных) средних к теоретическим? Как сравнить различные способы усреднения? В частности, что лучше применять для усреднения упорядочений — медиану Кемени или среднее по Кемени (среднее отличается от медианы тем, что в качестве показателя различия берётся не расстояние Кемени, а его квадрат)? Какие конкретные представители различных классов непараметрических оценок плотности достойны рекомендации для использования в нацеленных на практическое применение алгоритмах анализа нечисловых данных?

До сих пор не проведена классификация классических статистических методов с точки зрения теории измерений. Законченные результаты получены только для теории средних [129, 133, 134]. Установлено, что для измерений в порядковой шкале в качестве средних можно использовать только порядковые статистики, например, медиану (при нечётном объёме выборки). Среднее арифметическое, столь любимое профанами, применять нельзя. Однако многочисленные эксперименты показывают, что два способа упорядочения объектов экспертизы (по средним арифметическим рангов и по медианам рангов) в подавляющем большинстве случаев дают совпадающие или почти совпадающие результаты. Нужна теория, объясняющая этот экспериментальный факт.

Все более широкое распространение получает теория нечёткости. Давно установлено, что она в определённом смысле сводится к теории случайных множеств [129, 133, 134]. Требуется на основе этого математического результата проанализировать различные теоретические и прикладные постановки теории нечёткости и рассмотреть их в рамках вероятностно-статистического моделирования.

Перейдём к классическим областям статистики. Начнём с обсуждения влияния отклонений от традиционных предпосылок. В вероятностной теории статистических методов выборка обычно моделируется как конечная последовательность независимых одинаково распределённых случайных величин или векторов. В парадигме середины XX в. часто предполагают, что эти величины (векторы) имеют нормальное распределение.

При внимательном взгляде совершенно ясна нереалистичность приведённых классических предпосылок. Независимость результатов измерений обычно принимается «из общих предположений», между тем во многих случаях очевидна их коррелированность. Одинаковая распределённость также вызывает сомнения из-за изменений во времени свойств измеряемых образцов, средств измерения и психофизи-

ческого состояния специалистов, проводящих измерения (наблюдения, испытания, анализы, опыты, обследования). Даже обоснованность самого применения вероятностных моделей иногда вызывает сомнения, например, при моделировании уникальных явлений (согласно классическим воззрениям, теорию вероятностей обычно привлекают при изучении массовых явлений). И уж совсем редко распределения результатов измерений можно считать нормальными [129, 133].

Итак, методы классической математической статистики обычно используют вне сферы их обоснованной применимости. Каково влияние отклонений от традиционных предпосылок на статистические выводы? В настоящее время об этом имеются лишь отрывочные сведения. Приведём три примера.

Пример 1. Построение доверительного интервала для математического ожидания часто проводят с использованием распределения Стьюдента (при справедливости гипотезы нормальности). Как следует из Центральной предельной теоремы (ЦПТ) теории вероятностей, в асимптотике (при большом объёме выборки) такие расчётные методы дают правильные результаты (из ЦПТ вытекает использование квантилей нормального распределения, а из классической теории — квантилей распределения Стьюдента, но при росте объёма выборки квантили распределения Стьюдента стремятся к соответствующим квантилям нормального распределения).

Пример 2. Для проверки однородности двух независимых выборок (на самом деле — для проверки равенства математических ожиданий) нередко рекомендуют использовать двухвыборочный критерий Стьюдента. Предпосылки его применения — это нормальность распределений, соответствующих выборкам, и равенство их дисперсий. Что будет при отклонении от нормальности распределений, из которых взяты выборки? Если объёмы выборок равны или если дисперсии совпадают, то в асимптотике (когда объёмы выборок безгранично возрастают) классический метод является корректным. Если же объёмы выборок существенно отличаются или дисперсии различны, то критерий Стьюдента проверки гипотезы однородности применять нельзя, поскольку распределение двухвыборочной статистики Стьюдента будет существенно отличаться от классического. Поскольку проверка равенства дисперсий — более сложная задача, чем проверка равенства математических ожиданий, то для выборок разного объёма использовать двухвыборочную статистику Стьюдента не следует, целесообразно применять критерий Крамера — Уэлча [129, 133, 195].

Пример 3. В задаче отбраковки (исключения) резко выделяющихся наблюдений (выбросов) расчётные методы, основанные на нормальности, являются крайне неустойчивыми по отношению к отклонениям от нормальности, что полностью лишает эти методы научной обоснованности [129, 133].

Примеры 1–3 показывают весь спектр возможных свойств классических расчётных методов в случае отклонения от нормальности. Методы примера 1 оказываются вполне пригодными при таких отклонениях, примера 2 — пригодными в некоторых случаях, примера 3 — полностью непригодными.

Итак, имеется необходимость изучения свойств расчётных методов классической математической статистики, опирающихся на предположение нормальности, в ситуациях, когда это предположение не выполнено. Аппаратом для такого изучения наряду с методом Монте-Карло могут послужить предельные теоремы теории вероятностей, прежде всего Центральной предельной теоремы, поскольку интересующие нас расчётные методы обычно используют разнообразные суммы. Пока подобное изучение не проведено, остаётся неясной научная ценность, например, применения, основанного на предположении многомерной нормальности факторного анализа или дисперсионного анализа к векторам из переменных, принимающих небольшое число градаций и к тому же измеренных в порядковой шкале.

Почему необходимо изучение классических алгоритмов, а не построение новых, специально предназначенных для работы в условиях отклонения от классических предположений?

Во-первых, потому, что классические алгоритмы в настоящее время наиболее распространены (благодаря сложившейся системе образования прикладников). Например, в научных медицинских исследованиях для проверки однородности двух независимых выборок традиционно используют критерий Стьюдента, при этом условия его применимости не проверяют. Насколько обоснованными являются выводы? Как следует из примера 2, в ряде случаев нет оснований подвергать их сомнению, хотя они получены с помощью некорректной процедуры.

Во-вторых, более новые подходы зачастую методологически уязвимы. Так, известная робастная модель засорения Тьюки — Хубера нацелена на борьбу с большими выбросами, которые зачастую физически невозможны из-за ограниченности интервала значений измеряемой характеристики, в котором работает конкретное средство измерения. Следовательно, модель Тьюки — Хубера — Хампеля имеет скорее теоретическое значение, чем практическое. Сказанное, конеч-

но, не означает, что следует прекратить разработку, изучение и внедрение непараметрических и устойчивых методов, выделенных выше как «точки роста» современной прикладной статистики.

Нерешённым проблемам теоретической и прикладной статистики посвящены статьи [23, 127]. Одна из важных проблем — использование асимптотических результатов при конечных объёмах выборок. Конечно, естественно изучить свойства алгоритма с помощью метода Монте-Карло. Однако из какого конкретного распределения брать выборки при моделировании? От выбора распределения зависит результат. Кроме того, датчики псевдослучайных чисел лишь имитируют случайность. До сих пор неизвестно, каким датчиком целесообразно пользоваться в случае возможного безграничного роста размерности пространства.

Другая проблема — обоснование выбора одного из многих критериев для проверки конкретной гипотезы. Например, для проверки однородности двух независимых выборок можно предложить критерии Стьюдента, Крамера — Уэлча, Лорда, хи-квадрат, Вилкоксона (Манна — Уитни), Ван дер Вардена, Сэвиджа, Н. В. Смирнова, типа омега-квадрат (Лемана — Розенблатта), Реньи, Г. В. Мартынова и др. Какой выбрать?

Критерии однородности проанализированы в [93]. Естественных подходов к сравнению критериев несколько — на основе асимптотической относительной эффективности по Бахадур, либо по Ходжесу — Леману, или по Питмену. И каждый критерий является оптимальным при соответствующей альтернативе или подходящем распределении на множестве альтернатив. При этом математические выкладки обычно используют альтернативу сдвига, сравнительно редко встречающуюся в практике анализа реальных статистических данных. Итог печален — блестящая математическая техника, продемонстрированная в [93], не позволяет дать рекомендации для выбора критерия проверки однородности при анализе реальных данных.

Проблемы разработки высоких статистических технологий поставлены в работах [128, 190] (см. также одноименный сайт <http://orlovs.pp.ru>). Используемые при обработке реальных данных статистические технологии состоят из последовательности операций, каждая из которых, как правило, хорошо изучена, поскольку сводится к оцениванию (параметров, характеристик, распределений) или проверке той или иной гипотезы. Однако статистические свойства результатов обработки, полученных в результате последовательного применения таких операций, мало изучены. Необходима теория, позволяющая изучать свойства статистических технологий и так их конструировать, чтобы обеспечить высокое качество обработки данных.

3.6. Состояние статистической науки в нашей стране

В научной специальности 5.2.2 «Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (физико-математические науки, экономические науки)» одна из трёх основных составляющих — это «статистические методы в экономике». Предыдущие версии перечня научных специальностей ВАК содержали две специальности:

08.00.12 «Бухгалтерский учёт, статистика (экономические науки)»;

08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики (экономические науки)».

Эти две специальности были объединены. Каков вклад специальности 08.00.12 в объединённую специальность? Для ответа на этот вопрос необходимо выявить основное содержание статистической составляющей специальности 08.00.12. Это содержание отражено в многочисленных учебниках под названиями «Статистика» и «Общая теория статистики».

Для подобного анализа целесообразно кратко рассмотреть историю и современное состояние статистики как самостоятельной науки, а затем обсудить перспективы развития статистических методов в экономике. Этим вопросам и была посвящена часть 1 настоящей монографии.

Как уже отмечалось, более 150 лет назад были выделены две ветви статистической науки, на которые она делится и в настоящее время. Первая — развитие статистических методов. Вторая — ведомственная наука Росстата. О первой из этих ветвей дана информация выше. Обсудим вторую.

В нашей стране издано большое число учебников под названиями «Статистика», «Общая теория статистики». Анализ их содержания приводит к выводу о том, что в них излагаются различные статистические методы. Иногда к ним добавляется информация о работе Росстата и отдельных прикладных направлениях работы (например, о сельскохозяйственной статистике). Справедливо утверждает О. Б. Шейнин: «Наше заключение: теорией статистики может служить только математическая статистика» [325]. (Тем же автором выпущена адекватная книга по истории статистики [336]).

Поразительно, что авторы подобных учебников включают в них лишь методы описательной и параметрической статистики, разработанные сто лет назад или ранее, т. е. учат в рамках устаревшей пара-

дигмы. Нет ни слова про непараметрическую статистику или статистику нечисловых данных.

Не менее удивительно, что практически полностью игнорируются достижения отечественной статистики XX в. Например, в истории отечественной Академии наук есть только два её члена (члены-корреспонденты АН СССР Н. В. Смирнов и Л. Н. Большев), которые занимались исключительно математической статистикой. Именно им принадлежит наиболее значительная статистическая книга XX в. — «Таблицы математической статистики» [5]. Однако их имён нет ни в учебном пособии [273], ни в Энциклопедии статистических терминов, выпущенной Росстатом в 2013 г. в 8 томах [328]. В обширном томе 8 «Выдающиеся отечественные и зарубежные учёные в области статистики», содержащем информацию о сотнях специалистов прошлых веков, не нашлось места для выдающихся отечественных исследователей в области математической статистики и других статистических методов. А именно, для Н. В. Смирнова, Л. Н. Большева, профессоров В. В. Налимова, Ю. К. Беляева, Я. П. Лумельского, Л. Д. Мешалкина и многих, многих иных. Причём речь идёт не только о XX в. Забыли об академике М. В. Остроградском, которого следует считать основоположником теории статистического контроля (не только в нашей стране, но и во всем мире). Его доклад 1846 г. на эту тему, порождённый потребностями снабжения армии, был опубликован в 1848 г. [269].

Состояние «росстатовской» ветви статистической науки следует считать крайне неудовлетворительным. Отрыв этого сообщества от работ последнего столетия поражает. Но надежду внушает попытка 1980-х гг. объединить две ветви статистической науки, выразившаяся в создании в 1990 г. Всесоюзной статистической ассоциации [116, 117]. К сожалению, в результате развала СССР эта общественная организация прекратила свою деятельность. Следовало бы её восстановить. Действующая в настоящее время общероссийская общественная организация «Российская ассоциация статистиков» (<https://www.rusasstat.ru/>) действует в соответствии с ведомственной наукой Росстата и оторвана от современной теории и практики статистических методов, следуя примитивной парадигме XIX в.

ЧАСТЬ II
НОВАЯ ПАРАДИГМА
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ИССЛЕДОВАНИЯ

На современном этапе развития математических методов исследования на первое место выходят высокие статистические технологии (глава 4). Такие технологии анализа данных — ведущая составляющая новой парадигмы математических методов исследования. Новая парадигма подробно рассмотрена в главе 5. Она пришла на смену парадигме середины XX в., основанной на использовании параметрических семейств распределения вероятностей. Новая парадигма сконцентрирована на методах анализа нечисловых данных (в частности, интервальных) и на непараметрической статистике. Центральное направление развития современной статистической науки — статистика нечисловых данных.

Глава 4

О ВЫСОКИХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Как уже было отмечено в разделе 3.5 главы 3, при практическом использовании методов прикладной статистики применяются не отдельные методы описания данных, оценивания, проверки гипотез, а развёрнутые цельные процедуры — так называемые «статистические технологии». Понятие «статистическая технология» аналогично понятию «технологический процесс» в теории и практике организации производства. Вполне естественно, что одни статистические технологии лучше соответствуют потребностям исследователя (пользователя, статистика), а другие хуже. Одни — современные, а другие — устаревшие. Свойства одних изучены, а других — нет. Важно подчеркнуть, что квалифицированное и результативное применение статистических методов — это отнюдь не проверка одной отдельно взятой статистической гипотезы или оценка характеристик или параметров одного заданного распределения из фиксированного семейства. Подобного рода операции — только отдельные кирпичики, из которых складывается статистическая технология. Процедура статистического анализа данных — это информационный технологический процесс, другими словами, та или иная информационная технология. Статистическая информация подвергается разнообразным операциям (последовательно, параллельно или по более сложным схемам). В настоящей главе обсуждаются статистические технологии и проблема «стыковки» алгоритмов. Введено понятие «высокие статистические технологии», обоснована необходимость их разработки и применения. В качестве примера приведены исследования Института высоких статистических технологий и эконометрики Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Кратко рассмотрен ряд вопросов подготовки специалистов по высоким статистическим технологиям.

В различных областях деятельности применяют высокие технологии, под которыми понимают технологии, наиболее новые и прогрессивные на текущий момент времени. В начале XXI в. нами был введён термин «высокие статистические технологии». Первоначально он появился в печати в 2002 г. в первом издании учебника «Эконометрика» [129], а в следующем году вышла программная статья [128] (поступила в редакцию журнала «Заводская лаборатория. Диагностика

материалов» 16 марта 2001 г.). Наш основной сайт <http://orlovs.pp.ru/> с книгами и статьями в открытом доступе получил название «Высокие статистические технологии». Сайт был введён в эксплуатацию в октябре 2004 г., к настоящему времени его посетили более 17 млн раз. Многие учебники и справочники, размещённые (2008) на сайте нашей научно-исследовательской лаборатории «Экономико-математические методы в контроллинге» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана <http://ibm.bmstu.ru/nil/biblio.html>, имеют названия из двух частей. Первая часть — серийное название «Высокие статистические технологии», вторая — название конкретной монографии. В выпущенных позже печатных изданиях серийное название — «Организационно-экономическое моделирование»; оно было изменено в соответствии с названием учебной дисциплины по специальности «Менеджмент высоких технологий». В переизданиях 2022 г. серийное название было изменено ещё раз — на «Искусственный интеллект».

Таким образом, в начале XXI в. термин «высокие статистические технологии» стал широко использоваться. Представляется целесообразным обсудить его содержание, подвести первые итоги применения понятия, обозначенного этим термином, в научных исследованиях и преподавании.

4.1. Статистические технологии

Статистический анализ конкретных данных, как правило, включает в себя целый ряд процедур и алгоритмов, выполняемых последовательно, параллельно или по более сложной схеме. В частности, с точки зрения организатора прикладного статистического исследования можно выделить следующие этапы:

- планирование статистического исследования (включая разработку анкет, бланков наблюдения и учёта и других форм сбора данных; их апробацию; подготовку сценариев интервьюирования экспертов и анализа данных и т. п.);
- организация сбора необходимых статистических данных по оптимальной или рациональной программе (планирование выборки, создание организационной структуры и подбор команды статистиков, подготовка кадров, которые будут заниматься сбором данных, а также контролёров данных и т. п.);
- непосредственный сбор данных и их фиксация на тех или иных носителях (с контролем качества сбора и отбраковкой ошибочных данных по соображениям предметной области);

- первичное описание данных (расчёт различных выборочных характеристик, оценок функций распределения, непараметрических оценок плотности, построение гистограмм, корреляционных полей, различных таблиц и диаграмм и т. д.);
- оценивание тех или иных числовых или нечисловых характеристик и параметров распределений (например, непараметрическое интервальное оценивание коэффициента вариации или восстановление зависимости между откликом и факторами, т. е. оценивание функции);
- проверка статистических гипотез (иногда их цепочек — после проверки предыдущей гипотезы принимается решение о проверке той или иной последующей гипотезы; например, после проверки адекватности линейной регрессионной модели и отклонения этой гипотезы может проверяться адекватность квадратичной модели);
- более углублённое изучение, т. е. одновременное применение различных алгоритмов многомерного статистического анализа, алгоритмов диагностики и построения классификации, статистики нечисловых и интервальных данных, анализа временных рядов и др.;
- проверка устойчивости полученных оценок и выводов относительно допустимых отклонений исходных данных и предположений используемых вероятностно-статистических моделей, в частности, изучение свойств оценок методом размножения выборок и другими численными методами;
- применение полученных статистических результатов в прикладных целях, т. е. для формулировки выводов в терминах содержательной (прикладной) области (например, для диагностики конкретных материалов, построения прогнозов, выбора инвестиционного проекта из предложенных вариантов, нахождения оптимального режима осуществления технологического процесса, подведения итогов испытаний образцов технических устройств и др.);
- составление итоговых отчётов, в частности, предназначенных для тех, кто не является специалистом в статистических методах анализа данных, в том числе для руководства — «лиц, принимающих решения».

Возможны и иные структуризации различных статистических технологий, предназначенных для решения конкретных прикладных задач. Важно подчеркнуть, что квалифицированное и результативное

применение статистических методов — это отнюдь не проверка одной отдельно взятой статистической гипотезы или оценка характеристик или параметров одного заданного распределения из фиксированного семейства. Подобного рода операции — только отдельные кирпичики, из которых складывается статистическая технология.

Итак, процедура статистического анализа данных — это информационный технологический процесс, другими словами, та или иная информационная технология. Статистическая информация подвергается разнообразным операциям (последовательно, параллельно или по более сложным схемам). В настоящее время об автоматизации всего процесса статистического анализа данных говорить было бы несерьёзно, поскольку имеется слишком много нерешённых проблем, вызывающих дискуссии среди статистиков. Наличие разногласий — причина того, что так называемые «экспертные системы в области статистического анализа данных» пока не стали рабочим инструментом статистиков.

4.2. Проблема «стыковки» алгоритмов

В литературе статистические технологии рассматриваются явно недостаточно. В частности, обычно все внимание сосредотачивается на том или ином элементе технологической цепочки, а переход от одного элемента к другому остаётся в тени. Между тем проблема «стыковки» статистических алгоритмов, как известно, требует специального рассмотрения (см., например, [107, 122]), поскольку в результате использования предыдущего алгоритма зачастую нарушаются условия применимости последующего. В частности, результаты наблюдений могут перестать быть независимыми, может измениться их распределение и т. п.

Так, вполне резонной выглядит рекомендация: сначала разбейте данные на однородные группы, а потом в каждой из групп проводите статистическую обработку, например, регрессионный анализ. Однако эта рекомендация под кажущейся прозрачностью содержит подводные камни. Действительно, как поставить задачу в вероятностно-статистических терминах? Если, как обычно, примем, что исходные данные — это выборка, т. е. совокупность независимых одинаково распределённых случайных элементов, то классификация приведёт к разбиению этих элементов на группы. В каждой группе элементы будут зависимы между собой, а их распределение будет зависеть от группы, куда они попали. Отметим, что в типовых ситуациях границы классов стабилизируются, а это значит, что асимптотически эле-

менты кластеров становятся независимыми. Однако их распределение не может быть нормальным. Например, если исходное распределение было нормальным, то распределение в классах будет усечённым нормальным. Это означает, что необходимо пользоваться непараметрическими методами.

Разберём другой пример. При проверке статистических гипотез большое значение имеют такие хорошо известные характеристики статистических критериев, как уровень значимости и мощность. Методы их расчёта и использования при проверке одной гипотезы обычно хорошо известны. Если же сначала проверяется одна гипотеза, а потом с учётом результатов её проверки (конкретнее, если первая гипотеза принята) — вторая, то итоговую процедуру также можно рассматривать как проверку некоторой (более сложной) статистической гипотезы. Она имеет характеристики (уровень значимости и мощность), которые, как правило, нельзя простыми формулами выразить через характеристики двух составляющих гипотез, а потому они обычно неизвестны. Лишь в некоторых простых случаях характеристики итоговой процедуры можно рассчитать. В результате итоговую процедуру нельзя рассматривать как научно обоснованную, она относится к эвристическим алгоритмам. Конечно, после соответствующего изучения, например, методом Монте-Карло, она может войти в число научно обоснованных процедур прикладной статистики.

4.3. Термин «высокие статистические технологии»

Термин «высокие технологии» популярен в современной научно-технической литературе. Он используется для обозначения наиболее передовых технологий, опирающихся на последние достижения научно-технического прогресса. Есть такие технологии и среди технологий статистического анализа данных — как в любой интенсивно развивающейся научно-практической области.

Примеры высоких статистических технологий и входящих в них алгоритмов анализа данных, подробный анализ современного состояния и перспектив развития были приведены при обсуждении «точек роста» прикладной статистики и других статистических методов [182] (также см. выше главу 3). В качестве примеров «высоких статистических технологий» были выделены технологии непараметрического анализа данных; устойчивые (робастные) технологии; технологии, основанные на размножении выборок, на использовании достижений статистики нечисловых данных и статистики интервальных данных.

Обсудим пока не вполне привычный термин «высокие статистические технологии». Каждое из трёх слов несёт свою смысловую нагрузку.

«Высокие», как и в других областях, означает, что статистическая технология опирается на современные достижения статистической теории и практики, в частности, на достижения теории вероятностей и прикладной математической статистики. При этом «опирается на современные научные достижения» означает, во-первых, что математическая основа технологии получена сравнительно недавно в рамках соответствующей научной дисциплины, во-вторых, что алгоритмы расчётов разработаны и обоснованы в соответствии с ней (а не являются так называемыми «эвристическими»). Со временем новые подходы и результаты могут заставить пересмотреть оценку применимости и возможностей технологии, в частности, привести к замене её более современной. В противном случае «высокие статистические технологии» переходят в «классические статистические технологии», такие, как метод наименьших квадратов. Итак, высокие статистические технологии — плоды недавних серьёзных научных исследований. Здесь два ключевых понятия — «молодость» технологии (во всяком случае, не старше 50 лет, а лучше — не старше 10 или 30 лет) и опора на «высокую науку».

Термин «статистические» привычен, но коротко разъяснить его нелегко, как и содержание научной области «статистические методы». Проще сослаться на введение и все содержание учебника [228], на энциклопедию [9], справочник [5]. В частности, статистические данные — это результаты измерений, наблюдений, испытаний, анализов, опытов, обследований. А «статистические технологии» — это технологии анализа статистических данных.

Наконец, редко используемый применительно к статистике термин «технологии». Повторим, что статистический анализ данных, как правило, включает в себя целый ряд процедур и алгоритмов, выполняемых последовательно, параллельно или по более сложной схеме. Структура типовой статистической технологии описана выше. Обработка статистических данных — это информационный технологический процесс.

4.4. Всегда ли нужны «высокие статистические технологии»?

«Высоким статистическим технологиям» противостоят, естественно, «низкие статистические технологии» (а между ними расположены «классические статистические технологии»). «Низкие статисти-

стические технологии» — это те технологии, которые не соответствуют современному уровню науки и практики. Обычно они одновременно и устарели, и не вполне адекватны сути решаемых статистических задач.

Примеры таких технологий неоднократно критически рассматривались нами. Достаточно вспомнить критику использования критерия Стьюдента для проверки однородности математических ожиданий двух выборок при отсутствии нормальности и равенства дисперсий [111, 195]. Или применение критерия Вилкоксона для проверки совпадения теоретических медиан или функций распределения двух выборок [125]. Или использование классических процентных точек критериев Колмогорова и омега-квадрат в ситуациях, когда параметры оцениваются по выборке и эти оценки подставляются в «теоретическую» функцию распределения [108, 170]. На первый взгляд вызывает удивление устойчивость «низких статистических технологий», их постоянное возрождение во всё новых статьях, монографиях, учебниках. Поэтому, как ни странно, наиболее «долгоживущими» оказываются не работы, посвящённые новым научным результатам, а публикации, разоблачающие ошибки, типа статьи [108]. Прошло 40 лет с момента её публикации, но она по-прежнему актуальна, поскольку ошибочное применение критериев Колмогорова и омега-квадрат по-прежнему распространено.

Целесообразно отметить, по крайней мере, четыре обстоятельства, которые определяют эту устойчивость ошибок.

Во-первых, прочно закрепившаяся традиция. Так, многие учебники по курсам типа «Общая теория статистики», если беспристрастно проанализировать их содержание, состоят в основном из введения в прикладную статистику (в понимании [133]). Иногда изложение идёт в стиле «низких статистических технологий», т. е. в соответствии с уровнем 1950-х гг., а во многом и на уровне начала XX в., причём обычно с ошибками. К «низкой» прикладной статистике добавлена некоторая информация о деятельности органов Госкомстата РФ. Новое поколение специалистов, обучившись «низким» подходам, идеям, алгоритмам по подобным учебникам, их использует в своей работе, а с течением времени и достижением должностей, учёных званий и степеней — пишет новые учебники со старыми ошибками.

Второе обстоятельство связано с большими трудностями при оценке экономической эффективности применения статистических методов вообще и при оценке вреда от применения ошибочных методов в частности. (А без такой оценки как докажешь, что «высокие статистические технологии» лучше «низких»?) При оценке вреда от

применения ошибочных методов приходится учитывать, что общий успех в конкретной инженерной или научной работе вполне мог быть достигнут вопреки применению ошибочных методов, за счёт «запаса прочности» других составляющих общей работы. Например, преимущество одного технологического приёма (станка, оснастки, организации работы) над другим можно продемонстрировать двумя способами. Первый — с помощью критерия Крамера — Уэлча [111, 195] проверки равенства математических ожиданий (что правильно). Второй — применяя двухвыборочный критерий Стьюдента (что, вообще говоря, неверно, так как обычно не выполняются условия применимости этого критерия — нет ни нормальности распределения, ни равенства дисперсий). Выводы по конкретным статистическим данным, полученные с помощью обоих способов, могут совпадать.

Третье существенное обстоятельство — трудности со знакомством с высокими статистическими технологиями. В нашей стране в силу ряда исторических обстоятельств развития статистических методов в течение последних десятилетий только журнал «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» предоставлял такие возможности (в последние годы активно присоединился «Научный журнал КубГАУ»; надо добавить также периодический (раз в год-два) межвузовский сборник научных трудов «Статистические методы оценивания и проверки гипотез», выходивший в 1978–2019 гг.). К сожалению, поток высококачественных отечественных и переводных статистических книг, выпускавшихся ранее в СССР, в частности, издательствами «Наука», «Мир», «Финансы и статистика», практически иссяк, превратился в узкий ручеек...

Возможно, более существенным является влияние естественной задержки во времени между созданием «новых статистических технологий» и написанием полноценной и объёмной учебной и методической литературы. Такие издания должны позволять знакомиться с новой методологией, новыми методами, теоремами, алгоритмами, методами расчётов и интерпретации их результатов, статистическими технологиями в целом не по кратким оригинальным статьям, а при обычном вузовском и последипломном обучении.

И, наконец, четвёртое — наиболее важное. Всегда ли нужны высокие статистические технологии? Приведём аналогию — нужна ли современная сельскохозяйственная техника для обработки приусадебного участка? Нужны ли трактора и комбайны? Может быть, достаточно старинных технологий, основанных на использовании лопаты? Вернёмся к данным государственной статистики. Применяются статистические технологии первичной обработки (описания) данных,

основанные на построении разнообразных таблиц, диаграмм, графиков. Эти технологии соответствуют научному уровню XIX в. Подобное представление и первичный анализ данных удовлетворяют большинство потребителей статистической информации.

Итак, чтобы высокие статистические технологии успешно использовались, необходимы два условия:

- чтобы они были объективно нужны для решения практической задачи;
- чтобы потенциальный пользователь технологий субъективно понимал это.

Таким образом, весь арсенал реально используемых в настоящее время эконометрических и статистических технологий можно распределить по трём потокам:

- высокие статистические технологии;
- классические статистические технологии,
- низкие статистические технологии.

Под классическими статистическими технологиями, как уже отмечалось, понимаем технологии почтенного возраста, сохранившие своё значение для современной статистической практики. Таковы технологии на основе метода наименьших квадратов (включая методы точечного оценивания параметров прогностической функции, непараметрические методы доверительного оценивания параметров и прогностической функции в целом, проверок различных гипотез о них). А также на основе использования статистик типа Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат, непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена и Кендалла (относить их только к методам анализа ранжировок — значит делать уступку «низким статистическим технологиям») и многих других статистических процедур.

4.5. Основная проблема в области статистических технологий

В настоящее время она состоит в том, чтобы в конкретных эконометрических исследованиях использовались только технологии первых двух типов.

Каковы возможные пути решения этой проблемы? Борьба с конкретными невеждами — дело почти безнадежное. Конечно, необходима демонстрация квалифицированного применения высоких статистических технологий. В 1960–1970-х гг. этим занималась Межфакультетская лаборатория статистических методов академика А. Н. Колмогорова в МГУ им. М. В. Ломоносова. Главный печатный

орган — раздел «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория» (с 1995 г. — «Заводская лаборатория. Диагностика материалов»). За последние 60 с лишком лет в нём опубликовано более 1000 статей, выполненных на уровне «высоких статистических технологий». В настоящее время действует Институт высоких статистических технологий и эконометрики МГТУ им. Н. Э. Баумана и целый ряд других научных коллективов, работающих на уровне «высоких статистических технологий».

Очевидно, самое основное — это обучение. Какие бы новые научные результаты ни были получены, если они остаются неизвестными студентам, то новое поколение исследователей и инженеров, экономистов и менеджеров, специалистов в других областях вынуждено осваивать их поодиночке, в порядке самообразования, а то и перепроходить заново. Т. е. зачастую новые научные результаты практически исчезают из оборота научной и практической информации, едва появившись. Как ни странно это может показаться, избыток научных публикаций превратился в тормоз развития науки. По нашим оценкам (опубликованы в [112–114]), к настоящему времени по статистическим технологиям опубликовано не менее миллиона статей и книг, в основном во второй половине XX в. Из них не менее 100 тыс. являются актуальными для современного специалиста. При этом реальное число публикаций, которые способен освоить исследователь за свою профессиональную жизнь, по нашей оценке, не превышает 2–3 тыс. Именно таково число литературных ссылок в наиболее полном (на сегодняшний день) издании на русском языке по статистическим методам — трёхтомнике [33–35]. Итак, каждый специалист в области прикладной статистики знаком не более чем с 2–3% актуальных для него литературных источников. Поскольку существенная часть публикаций заражена «низкими статистическими технологиями», то исследователь-самоучка, увы, имеет мало шансов выйти на уровень «высоких статистических технологий». С подтверждениями этого печального вывода постоянно приходится сталкиваться. Одновременно приходится констатировать, что масса полезных результатов погребена в изданиях прошлых десятилетий (в том числе зарубежных) и имеет мало шансов пробиться в ряды используемых в настоящее время «высоких статистических технологий» без специально организованных усилий современных специалистов.

Итак, основное — обучение. Несколько огрубляя, можно сказать так: что попало в учебные курсы и соответствующие учебные издания — то сохраняется, что не попало — то пропадает.

4.6. Необходимость высоких статистических технологий

Может возникнуть естественный вопрос: зачем нужны высокие статистические технологии, разве недостаточно обычных статистических методов? Специалисты по прикладной статистике справедливо считают и доказывают своими теоретическими и прикладными работами, что явно недостаточно. Так, совершенно очевидно, что многие данные в информационных системах имеют нечисловой характер, например, являются словами или принимают значения из конечных множеств. Нечисловой характер имеют и упорядочения, которые дают эксперты или менеджеры, например, выбирая главную цель, следующую по важности и т. д. Значит, нужна статистика нечисловых данных. Мы её построили [218, 226]. Далее, многие величины известны не абсолютно точно, а с некоторой погрешностью — от и до. Другими словами, исходные данные — не числа, а интервалы. Нужна статистика интервальных данных. Мы её развиваем [23, 187, 254]. В широко известной монографии по контроллингу [44] на с. 138 хорошо сказано: «Нечёткая логика — мощный элегантный инструмент современной науки, который на Западе (и на Востоке — в Японии, Китае...) можно встретить в десятках изделий — от бытовых видеокамер до систем управления вооружениями, — у нас до самого последнего времени был практически неизвестен». Напомним, первая монография российского автора по теории нечёткости [104] содержит основы высоких статистических технологий, в том числе связанные с анализом выборок нечётких множеств (см. также [254, 242]). Ни статистики нечисловых данных, ни статистики интервальных данных, ни статистики нечётких данных не было и не могло быть в классической статистике. Всё это — высокие статистические технологии. Они разработаны за последние десятилетия. К сожалению, как уже не раз приходилось констатировать, обычные вузовские курсы по общей теории статистики и по математической статистике разбирают научные результаты, полученные в первой половине XX в. и ранее.

Важная и весьма перспективная часть прикладной статистики — применение высоких статистических технологий к анализу конкретных данных, что зачастую требует дополнительных теоретических исследований по доработке статистических технологий применительно к конкретной ситуации. Большое значение имеют конкретные статистические модели, например, модели экспертных оценок или эконометрики качества. И конечно, такие конкретные применения, как расчёт и прогнозирование индекса инфляции. Сейчас уже

многим экономистам и менеджерам ясно, что годовой бухгалтерский баланс предприятия может быть использован для оценки его финансово-хозяйственной деятельности только с привлечением данных об инфляции [244].

4.7. Институт высоких статистических технологий и эконометрики

Опишем пример опыта внедрения «высоких статистических технологий». Организованный нами в 1989 г. Институт высоких статистических технологий и эконометрики (ИВСТЭ) в настоящее время действует на базе кафедры ИБМ-2 «Экономика и организация производства» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Институт на хозяйственных и госбюджетных началах занимается развитием, изучением и внедрением эконометрики и «высоких статистических технологий», т. е. наиболее современных технологий анализа экономических, технических, социологических, медицинских данных, ориентированных на использование в условиях современного производства и экономики. Основным интересом представляют применения «высоких статистических технологий» для анализа конкретных экономических данных, т. е. в эконометрике. Наиболее перспективным представляется применение «высоких статистических технологий» для поддержки принятия управленческих решений, прежде всего в таком новом (для России) современном направлении экономической науки и практики, как контроллинг (см., например, [21, 44]).

Вначале Институт действовал как Всесоюзный центр статистических методов и информатики центрального правления Всесоюзного экономического общества. В 1990–1992 гг. было выполнено более 100 хозяйственных работ, в том числе для НИЦентра по безопасности атомной энергетики, ВНИИ нефтепереработки, ПО «Пластик», ЦНИИ чёрной металлургии им. Бардина, НИИ стали, ВНИИ эластомерных материалов и изделий, НИИ прикладной химии, ЦНИИ химии и механики, НПО «Орион», ВНИИ экономических проблем развития науки и техники, ПО «Уралмаш», «АвтоВАЗ», МИИТ, Казахского политехнического института, Донецкого государственного университета, Института питания (Алма-Ата) и многих других.

Затем Институт разрабатывал эконометрические методы анализа нечисловых данных, а также процедуры расчёта и прогнозирования индекса инфляции и валового внутреннего продукта (по заданию Минобороны РФ). ИВСТЭ развивал методологию построения и ис-

пользования математических моделей процессов налогообложения (для Министерства налогов и сборов РФ), методологию оценки рисков реализации инновационных проектов высшей школы (по заданию Отделения инновационных проектов и программ РИНКЦЭ Миннауки РФ). Институт оценивал влияние различных факторов на формирование налогооблагаемой базы ряда налогов (для Минфина РФ), прорабатывал перспективы применения современных статистических и экспертных методов для анализа данных о научном потенциале (для Министерства промышленности, науки и технологий РФ). Важное направление связано с эколого-экономической тематикой — разработка методологического, программного и информационного обеспечения анализа рисков химико-технологических объектов (для Международного научно-технического центра), методов использования экспертных оценок в задачах экологического страхования (совместно с Институтом проблем рынка РАН). Институт проводил маркетинговые исследования (в частности, для Institute for Market Research GfK MR, Промрадтехбанка, фирм, торгующих растворимым кофе, программным обеспечением, оказывающих образовательные услуги). Интерес вызывали работы Института по прогнозированию социально-экономического развития России методом сценариев, по экономико-математическому моделированию развития малых предприятий и созданию современных систем информационной поддержки принятия решений для таких организаций.

С 2010 г. Институт занимался проблемами прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий, обеспечения безопасности полётов (см., например, [7; 262, 263, 267, 268, 311]), с 2013 г. — организационно-экономическим обеспечением управления проектами создания изделий ракетно-космической техники [11, 12, 175, 265, 295].

Институт ведёт фундаментальные исследования в области высоких статистических технологий и эконометрики, в частности, в рамках МГТУ им. Н. Э. Баумана и Российского фонда фундаментальных исследований. Информация об Институте представлена на сайте <http://orlovs.pp.ru> и его форуме <https://orlovs.pp.ru/forum/>. Институт издётся еженедельник «Эконометрика» <http://subscribe.ru/catalog/science.humanity.econometrika>. Архив его выпусков можно рассматривать как хрестоматию по различным разделам эконометрики, а также по высоким статистическим технологиям.

Область научных и практических работ по развитию и применению статистических методов в экономике и управлении организациями и территориями, как известно, называется эконометрикой [129].

Термин «эконометрика» пока ещё не всем известен в России. А между тем в мировой науке эконометрика занимает достойное место. Напомним, что Нобелевские премии по экономике получили эконометрики Ян Тильберген, Рагнар Фриш, Лоуренс Клейн, Трюгве Хаавельмо, Джеймс Хекман и Дэниель Мак-Фадден. В 2003 г. к ним добавились Энгл Грейнджер и Кеннет Риглз и т. д. Выпускается ряд научных журналов, полностью посвящённых эконометрике, в том числе *Journal of Econometrics* (Швеция), *Econometric Reviews* (США), *Econometrica* (США), *Sankhya* (Indian Journal of Statistics. Ser.D. Quantitative Economics, Индия), *Publications Econometriques* (Франция). Применение эконометрики даёт заметный экономический эффект. Например, в США — не менее 44 млрд долларов ежегодно (в ценах 2025 г.) только в области статистического контроля качества [129].

Однако в нашей стране по ряду причин прикладная статистика и эконометрика не были сформированы как самостоятельные направления научной и практической деятельности, в отличие, например, от Польши, не говоря уже об англосаксонских странах. В результате специалистов в области прикладной статистики и эконометрики у нас на порядок меньше, чем в США и Великобритании.

4.8. О подготовке специалистов по высоким статистическим технологиям

Приходится с сожалением констатировать, что в России плохо налажена подготовка специалистов по высоким статистическим технологиям. В курсах по теории вероятностей и математической статистике обычно даются лишь классические основы этих дисциплин, разработанные в первой половине XX в., а преподаватели-математики свою научную деятельность предпочитают посвящать доказательству теорем, имеющих лишь внутриматематическое значение, а не развитию высоких статистических технологий. В настоящее время появилась надежда на эконометрику. В России развёртываются эконометрические исследования и преподавание эконометрики. Экономисты, менеджеры и инженеры, прежде всего специалисты по контроллингу, должны быть вооружены современными средствами информационной поддержки, в том числе высокими статистическими технологиями и эконометрикой. Очевидно, преподавание должно идти впереди практического применения. Ведь как применять то, чего не знаешь?

Приведём два примера — отрицательный и положительный, — показывающие связь преподавания с внедрением передовых технологий.

Один раз — в 1990–1992 гг. мы уже обожглись на недооценке необходимости предварительной подготовки тех, для кого предназначены современные программные продукты. Наш коллектив (Всесоюзный центр статистических методов и информатики центрального правления Всесоюзного экономического общества, в настоящее время — Институт высоких статистических технологий и эконометрики) разработал систему диалоговых программных систем обеспечения качества продукции. Их созданием руководили ведущие специалисты страны. Но распространение программных продуктов шло на 1–2 порядка медленнее, чем мы ожидали. Причина стала ясна не сразу. Как оказалось, работники предприятий просто не понимали возможностей разработанных систем, не знали, какие задачи можно решать с их помощью, какой экономический эффект они дадут. А не понимали и не знали потому, что в вузах никто их не учил статистическим методам управления качеством. Без такого систематического обучения нельзя обойтись — сложные концепции «на пальцах» за пять минут не объяснишь.

Есть и противоположный пример — положительный. В середине 1980-х гг. в советской средней школе ввели новый предмет «Информатика». И сейчас молодое поколение превосходно владеет компьютерами, мгновенно осваивая быстро появляющиеся новинки, и этим заметно отличается от тех, кому за 55–65 лет.

Если бы удалось ввести в средней школе развёрнутый курс теории вероятностей и прикладной статистики, то ситуация с внедрением высоких статистических технологий могла бы быть резко улучшена. Такой курс есть в Японии и США, Швейцарии, Кении и Ботсване, почти во всех странах (и ЮНЕСКО проводит всемирные конференции по преподаванию статистики в средней школе — см. сборник докладов [The teaching]). Надо, конечно, добиться того, чтобы этот курс был построен на высоких статистических технологиях, а не на низких. Другими словами, он должен отражать современные достижения, а не концепции 50-летней или 100-летней давности.

Глава 5

О НОВОЙ ПАРАДИГМЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе анализа развития статистических методов (часть 1) и концепции высоких статистических технологий (глава 4) был сделан следующий шаг в развитии методологии математических методов исследования.

С конца 2011 г. мы стали разъяснять революционную сущность нашего инновационного подхода к разработке математических методов исследования, используя термин «новая парадигма». Ранее мы не подчёркивали принципиальную новизну подхода, наоборот, старались замаскироваться под привычную тематику. Теперь, когда учебники, выполненные на основе новой парадигмы, написаны и опубликованы, надобность в маскировке отпала.

В 2011–2016 гг. научной общественности была представлена новая парадигма математических методов исследования, прежде всего в области организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики. Шла речь о новой парадигме прикладной статистики, математической статистики, математических методов экономики, анализа статистических и экспертных данных в задачах экономики и управления. Считаем необходимым при разработке организационно-экономического обеспечения для решения задач конкретной прикладной области, например, ракетно-космической отрасли, исходить из новой парадигмы математических методов исследования. Аналогичное требование предъявляем к преподаванию соответствующих дисциплин. При разработке учебных планов и рабочих программ необходимо исходить из новой парадигмы математических методов исследования.

В настоящей главе мы приводим базовую информацию о новой парадигме математических методов исследования. Начинаем с её краткой формулировки. Изложение в данной главе посвящено в основном научной области «Математические, статистические и инструментальные методы экономики», включающей организационно-экономическое и экономико-математическое моделирование, эконометрику и статистику, а также развёрнутые разделы теории принятия решений, системного анализа, кибернетики, исследования операций. Обсуждаем основные понятия. Рассказываем о ходе разработки новой

парадигмы. Проводим развёрнутое сравнение старой и новой парадигм математических методов исследования. Даём информацию об учебной литературе, подготовленной в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования.

Перейдём к более подробному изложению. Итак, в 2011–2016 гг. в серии статей в научных журналах и докладов на международных, зарубежных и всероссийских научных конференциях была представлена научной общественности новая парадигма математических методов исследования [188, 201], прежде всего, в области организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики [144, 151, 152, 185]. Шла речь о новой парадигме прикладной статистики [145, 149, 168], математической статистики [152, 159], математических методов экономики [165], анализа статистических и экспертных данных в задачах экономики и управления [171, 186]. Новая парадигма обсуждалась на XIV Всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий» [156], «Вторых Чарновских чтениях» [154], республиканской научно-практической конференции «Новые теоремы молодых математиков-2013» (Узбекистан, Наманган, Наманганский государственный университет) [157]. А также на международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы экономики и финансов в условиях современных вызовов российского и мирового хозяйства» [164], III Всероссийской научной конференции «Философия математики: актуальные проблемы. Математика и реальность» [166], VII международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» [167]. Таким образом, можно констатировать, что новая парадигма математических методов исследования широко обсуждалась научной общественностью.

Новая парадигма позволила получить ряд новых научных результатов. Так, на основе новой парадигмы математических методов исследования подготовлена редакционная статья «Искусственный интеллект, нейросети, большие данные и математические методы исследования» в журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» [236]. В частности, продемонстрировано, что, грубо говоря, нейросетевые методы — это новое название методов прикладной статистики, основанных на использовании обучающих выборок.

Основные практические предложения таковы. Считаем необходимым при разработке организационно-экономического обеспечения для решения задач конкретной прикладной области, например, ракетно-космической отрасли, исходить из новой парадигмы математических методов исследования. Аналогичное требование предъявляем

к преподаванию соответствующих дисциплин. При разработке учебных планов и рабочих программ необходимо исходить из новой парадигмы математических методов исследования.

В настоящей главе приведём базовую информацию о новой парадигме математических методов исследования. При этом будем активно использовать ряд методологических положений и научных результатов, рассмотренных в предыдущих главах.

5.1. Краткая формулировка новой парадигмы

Математические методы исследования используются для решения практических задач с давних времён. Как уже отмечалось, в Ветхом Завете рассказано о весьма квалифицированно проведённой переписи военнообязанных (Четвёртая книга Моисеева «Числа»). В первой половине XX в. была разработана классическая (в настоящее время уже устаревшая, поэтому будем её иногда называть старой) парадигма методов обработки данных, полученных в результате измерений (наблюдений, испытаний, анализов, опытов). Математические методы исследования, соответствующие классической парадигме, широко используются. Со стороны может показаться, что в этой области основное давно сделано, современные работы направлены на мелкие усовершенствования. Однако это совсем не так. Новая парадигма математических методов исследования принципиально меняет прежние представления. Она зародилась в 1980-х гг., но была развита в серии наших монографий и учебников уже в XXI в. Сопоставим две парадигмы — старую и новую.

Типовые исходные данные в новой парадигме — объекты нечисловой природы (элементы нелинейных пространств, которые нельзя складывать и умножать на число, например, множества, бинарные отношения). А в старой — числа, конечномерные векторы, функции. Ранее (в классической старой парадигме) для расчётов использовались разнообразные суммы, однако объекты нечисловой природы нельзя складывать, поэтому в новой парадигме применяется другой математический аппарат, основанный на расстояниях между объектами нечисловой природы и решении задач оптимизации.

Изменились постановки задач анализа данных. Старая парадигма исходит из идей начала XX в., когда К. Пирсон предложил четырёхпараметрическое семейство распределений для описания распределений реальных данных. В это семейство как частные случаи входят, в частности, подсемейства нормальных, экспоненциальных, Вейбулла — Гнеденко, гамма-распределений. Вскоре было ясно, что рас-

пределения реальных данных, как правило, не входят в семейство распределений Пирсона (об этом говорил, например, академик С. Н. Бернштейн в 1927 г. в докладе на Всероссийском съезде математиков [3]). Однако теория параметрических семейств распределений (методы оценивания параметров и проверки гипотез) оказалась достаточно интересной для математиков, и именно на ней до сих пор основано преподавание во многих вузах. Итак, в старой парадигме основной подход к описанию данных — распределения из параметрических семейств, а оцениваемые величины — их параметры, в то время как в новой парадигме рассматривают произвольные распределения, а оценивают — характеристики и плотности распределений, зависимости, правила диагностики и др. Центральная часть теории — уже не статистика числовых случайных величин, а статистика в пространствах произвольной природы.

В старой парадигме источники постановок новых задач — традиции, сформировавшиеся к середине XX в. А в новой другие источники — современные потребности математического моделирования и анализа данных в XXI в. Другими словами, запросы практики XXI в. Конкретизируем это общее различие. В старой парадигме типовые результаты — предельные теоремы, в новой — рекомендации для конкретных значений параметров, в частности, объёмов выборок. Изменилась роль информационных технологий — ранее они использовались в основном для расчёта таблиц (в частности, информатика находилась вне математической статистики), теперь же они — инструменты получения выводов (имитационное моделирование, датчики псевдослучайных чисел, методы размножения выборок, в том числе бутстреп и др.). Вид постановок задач приблизился к потребностям практики — при анализе данных от отдельных задач оценивания и проверки гипотез перешли к статистическим технологиям (технологическим процессам анализа данных). Выявилась важность проблемы «стыковки алгоритмов» — влияния выполнения предыдущих алгоритмов в технологической цепочке на условия применимости последующих алгоритмов. В старой парадигме эта проблема не рассматривалась, для новой — весьма важна.

Если в старой парадигме вопросы методологии моделирования практически не обсуждались, достаточными признавались схемы начала XX в., то в новой парадигме роль методологии (учения об организации деятельности [97]) является основополагающей. Резко повысилась роль моделирования — от отдельных моделей (в лучшем случае вытекающих из некоторых систем аксиом) произошёл переход к системам моделей. Сама возможность применения вероятностного

подхода теперь — не «наличие повторяющегося комплекса условий» (реликт физического определения понятия «вероятность», использовавшегося до аксиоматизации теории вероятностей А. Н. Колмогоровым в 1930-х гг.), а наличие обоснованной вероятностно-статистической модели. Если раньше данные считались полностью известными, то для новой парадигмы характерен учёт свойств данных, в частности, интервальных и нечётких. Изменилось отношение к вопросам устойчивости выводов — в старой парадигме практически отсутствовал интерес к этой тематике, в новой разработана развитая теория устойчивости (робастности) выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок моделей.

5.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики

Изложение в настоящей главе, как и в данной монографии в целом, посвящено в основном научной области «Математические, статистические и инструментальные методы экономики», включающей организационно-экономическое и экономико-математическое моделирование, эконометрику и статистику, а также разделы теории принятия решений, системного анализа, кибернетики, исследования операций. Рассмотрим основное содержание новой парадигмы этой научно-практической области, базовые положения которой, как уже говорилось, были разработаны в 1980-х гг. в процессе создания Всесоюзной статистической ассоциации. Новую парадигму постоянно сопоставляем со старой (соответствующей середине XX в.). В конце главы (в разделе 5.7) дадим сводку монографий, учебников и учебных пособий, подготовленных в XXI в. в соответствии с новой парадигмой.

Математические, статистические и инструментальные методы экономики — одна из специальностей научных работников, относящаяся к экономическим наукам (в классификации ВАК обозначается 5.2.2). Она посвящена разработке интеллектуальных инструментов для решения задач теории и практики экономического анализа.

Известно, что конкретные модели и методы экономики предприятия и организации производства основаны, в частности, на научных результатах таких перечисленных выше научных областей, как организационно-экономическое и экономико-математическое моделирование, эконометрика и статистика. Эти научные области относятся к математическим методам экономики. Они предоставляют исследователям и практическим работникам интеллектуальные инструменты для решения различных задач стратегического планирования

и развития предприятий, организации производства и управления хозяйствующими субъектами, конструкторской и технологической подготовки производства. В монографии [146] на с. 395–424 выделено 195 групп задач управления промышленными предприятиями и для них указаны базовые наборы экономико-математических методов и моделей.

Развитие математических методов экономики привело к формированию новой парадигмы в этой области, существенно отличающейся от послевоенной парадигмы, созданной в 1950–1970 гг. и используемой многими преподавателями и научными работниками и в настоящее время. Данная глава посвящена основным идеям новой парадигмы математических методов, предназначенных в основном для решения задач экономики и управления (менеджмента).

5.3. Основные понятия

Целесообразно начать с определений используемых понятий.

Термин «парадигма» происходит от греческого *paradeigma* — «пример», «образец». Он означает совокупность явных и неявных (и часто не осознаваемых) предпосылок, определяющих подходы к проведению научных исследований и признанных научным сообществом на определённом этапе развития науки [57].

Организационно-экономическое моделирование — научная, практическая и учебная дисциплина, посвящённая разработке, изучению и применению математических и статистических методов и моделей в экономике и управлении народным хозяйством, прежде всего применительно к промышленным предприятиям и их объединениям [139].

Экономико-математическое моделирование — описание экономических процессов и явлений в виде экономико-математических моделей. При этом экономико-математическая модель — математическое описание экономического процесса или объекта, произведённое в целях их исследования и управления ими: математическая запись решаемой экономической задачи (поэтому зачастую термины «модель» и «задача» употребляются как синонимы). В самой общей форме модель — условный образ объекта исследования, сконструированный для упрощения этого исследования. При построении модели предполагается, что её непосредственное изучение даёт новые знания о моделируемом объекте, которые позволят разработать и обосновать адекватные управленческие воздействия [60].

По распространённому определению, эконометрика — это наука, изучающая конкретные количественные и качественные взаи-

мосьязи экономических объектов и процессов с помощью математических и статистических методов и моделей [6]. Обычно используют несколько более узкое определение: эконометрика — это статистические методы в экономике [129].

Статистика исходит, прежде всего, из опыта; недаром её зачастую определяют как науку об общих способах обработки результатов эксперимента [95]. Прикладная статистика — это наука о том, как обрабатывать данные (этой фразой начинается учебник [133]).

Специалисту очевидна близость, переплетение, зачастую совпадение всех научных, практических и учебных дисциплин, рассмотренных выше. К ним можно прибавить ещё несколько: теорию принятия решений, системный анализ, кибернетику, исследование операций... Исходя из нашего профессионального опыта, попытки искусственно ввести границы между этими дисциплинами не являются плодотворными, хотя и позволяют организовывать долгие дискуссии.

На международной научной конференции по организации производства «Вторые Чарновские чтения» [13] работала секция «Организационно-экономическое и экономико-математическое моделирование, эконометрика и статистика». Это название было получено путём объединения названий учебных дисциплин «Организационно-экономическое моделирование», «Эконометрика», «Прикладная статистика», «Статистика», которые изучаются студентами Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент», а также названия Научно-исследовательской лаборатории «Экономико-математические методы в контроллинге» Научно-образовательного центра «Контроллинг и управленческие инновации» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. На заседании секции была проведена дискуссия по выбору наиболее адекватного названия научной области, к которой относились представленные работы. Приведённое выше название признано слишком длинным. Название «Организационно-математическое моделирование» отклонено как малоизвестное и сужающее рассматриваемую тематику. Одобрено название «Математическое моделирование в организации производства», а при проведении конференций по более широкой тематике — «Математическое моделирование экономики и управления». Заметная доля исследований в этой области относится к научной специальности «Математические, статистические и инструментальные методы экономики», практически все экономисты и управленцы (менеджеры) используют те или иные математические методы экономики.

5.4. Интеллектуальные инструменты в новой парадигме

Организационно-экономическое и экономико-математическое моделирование, эконометрика и статистика предоставляют собой интеллектуальные инструменты для решения различных задач организации производства и управления предприятиями и организациями. Например, в учебнике по организации и планированию машиностроительного производства (производственному менеджменту) [98] более 20 раз используются эконометрические (если угодно, математические и статистические) методы и модели, как это подробно продемонстрировано, например, в [260].

Рассматриваемые методы широко используются для решения различных задач теории и практики экономического анализа. В частности, проводится когнитивное моделирование [310] развития наукоёмкой промышленности (на примере оборонно-промышленного комплекса) и систем налогообложения [70, 134], модельное обоснование инновационного развития наукоёмкого сектора российской экономики [309]. Моделируют организационные изменения [78], применяют различные информационные технологии [30]. Всё шире используются технологии экспертных оценок [161, 227, 280], в том числе для построения обобщённых показателей (рейтингов) [18, 19, 24, 27, 29, 63, 266, 282–285].

Как уже говорилось, во второй половине 1980-х гг. в нашей стране развернулось научно-общественное движение по созданию профессионального объединения специалистов в области организационно-экономического и экономико-математического моделирования, эконометрики и статистики (кратко — статистиков). Аналоги такого объединения — британское Королевское статистическое общество (основано в 1834 г.) и Американская статистическая ассоциация (создана в 1839 г.). К сожалению, деятельность учреждённой в 1990 г. Всесоюзной организации по статистическим методам, в том же году преобразованной в секцию Всесоюзной статистической ассоциации (ВСА) [116, 117], оказалась парализованной в результате развала СССР.

В ходе организации ВСА силами научно-общественного движения было проанализировано состояние и перспективы развития рассматриваемой области научно-прикладных исследований и осознаны основы новой парадигмы организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики. Таким образом, эти основы сложились уже к концу 1980-х гг.

В течение следующих десятилетий лет новая парадигма развивалась, как продемонстрировано выше, и к настоящему времени оформлена в виде серии статей, докладов, монографий и учебников для вузов, состоящей более чем из 20 книг [246].

5.5. Сравнение старой и новой парадигм

Проведём развёрнутое сравнение старой и новой парадигм математических методов исследования. Сведём вместе предыдущие обсуждения. При этом опираемся, прежде всего, на материалы раздела «Математические методы исследования» научно-технического журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов».

Типовые исходные данные в новой парадигме — объекты нечисловой природы, т. е. элементы нелинейных пространств, которые нельзя складывать и умножать на число, например, множества, бинарные отношения. А в старой — числа, конечномерные векторы, функции (в том числе временные ряды). Ранее (в старой парадигме) для расчётов использовались разнообразные суммы. Однако объекты нечисловой природы нельзя складывать, поэтому в новой парадигме применяется другой математический аппарат, основанный на расстояниях между объектами нечисловой природы и решении задач оптимизации.

Изменились постановки задач анализа данных и экономико-математического моделирования. Старая парадигма математической статистики исходит из идей начала XX в., когда К. Пирсон предложил четырёхпараметрическое семейство распределений для описания распределений реальных данных. В это семейство как частные случаи входят, в частности, хорошо известные подсемейства нормальных, экспоненциальных, Вейбулла — Гнеденко, гамма-распределений. Сразу было ясно, что распределения реальных данных, как правило, не входят в семейство распределений Пирсона. Об этом говорил, например, академик С. Н. Бернштейн в 1927 г. в докладе на Всероссийском съезде математиков [3] (см. также обоснования этого утверждения в статье [199]). Однако математическая теория параметрических семейств распределений (методы оценивания параметров и проверки гипотез для выборок из таких распределений) оказалась достаточно интересной с теоретической точки зрения (в её рамках был доказан ряд трудных теорем), и именно на ней до сих пор основано преподавание во многих вузах. Итак, в старой парадигме основной подход к описанию данных — распределения из параметрических семейств, а оцениваемые величины — их параметры. В новой парадигме рассматривают произвольные распределения, а оценивают —

характеристики и плотности распределений, зависимости, правила диагностики и др. Центральная часть теории — уже не статистика числовых случайных величин, а статистика в пространствах произвольной природы, т. е. статистика нечисловых данных, нечисловая статистика [218, 219, 226].

В старой парадигме источники постановок новых задач, продолжающих привлекать исследователей — традиции, сформировавшиеся к середине XX в. Вопреки этим традициям, в новой парадигме исходим из современных потребностей математического моделирования и анализа данных (XXI в.), т. е. из запросов практики, а не только теории. Конкретизируем это общее различие. В старой парадигме типовые результаты — предельные теоремы, в новой — рекомендации для конкретных значений параметров, в частности, объёмов выборок. Изменилась роль информационных технологий — ранее они использовались в основном для расчёта таблиц распределений и критических значений статистик (как в [5]). Информатика находилась вне математической статистики. Теперь же они — инструменты получения выводов (имитационное моделирование, датчики псевдослучайных чисел, методы размножения выборок, например, бутстреп и др.). Вид постановок задач приблизился к потребностям практики — при анализе данных от отдельных задач оценивания и проверки гипотез перешли к статистическим технологиям, т. е. к технологическим процессам анализа данных. Выявилась важность проблемы «стыковки алгоритмов» — влияния выполнения предыдущих алгоритмов в технологической цепочке на условия применимости последующих алгоритмов. В старой парадигме эта проблема не рассматривалась, а вот для новой — весьма важна. Приходится констатировать, что в этом направлении предстоит ещё большая работа.

Если в старой парадигме вопросы методологии моделирования практически не обсуждались, достаточными признавались утвердившиеся схемы начала XX в., то в новой парадигме роль методологии (учения об организации деятельности [97]) является основополагающей. Резко повысилась роль моделирования — от отдельных систем аксиом произошёл переход к системам моделей [136]. Сама возможность применения вероятностного подхода теперь — не «наличие повторяющегося комплекса условий», а наличие обоснованной вероятностно-статистической модели. Требование наличия подобного комплекса — реликт физического определения вероятности (по Мизесу), использовавшегося до аксиоматизации теории вероятностей А. Н. Колмогоровым в 1930-х гг. Его существование — достаточное условие для применения вероятностно-статистических моделей и методов, но не необходимое.

Если раньше данные считались полностью известными, то для новой парадигмы характерен учёт свойств данных, в частности, использование интервальных и нечётких величин и множеств [254].

Изменилось отношение к вопросам устойчивости выводов — в старой парадигме практически отсутствовал интерес к этой тематике, в новой разработана развитая теория устойчивости (робастности) выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок моделей [176, 230], применение которой необходимо для получения обоснованных выводов.

В нашей стране развитие теории экспертных оценок (в рамках одноименной комиссии Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика») переплеталось с развитием математических методов исследования. Потребности теории экспертных оценок приводили к необходимости развития новых математических методов, прежде всего статистики нечисловых данных. А новые математические результаты немедленно применялись в области экспертного оценивания. Поэтому теорию анализа экспертных оценок можно рассматривать как прикладное «зеркало» общей теории в области математических методов исследования, прежде всего «зеркало» статистики нечисловых данных.

В отличие от старой парадигмы, в новой роль методологии является основополагающей. Например, решение об использовании непараметрических статистических методов (а не параметрических) является методологическим. А из этого решения вытекает, в частности, необходимость отказа от методов, основанных на нормальности элементов выборки, например, от критерия Стьюдента.

Результаты сравнения парадигм (в кратком виде) удобно представить в виде таблицы 2.

Таблица 2

Сравнение основных характеристик старой и новой парадигм математических методов исследования

№	Характеристика	Старая парадигма	Новая парадигма
1	Типовые исходные данные	Числа, конечномерные векторы, функции	Объекты нечисловой природы [162, 226]
2	Основной подход к моделированию данных	Распределения из параметрических семейств	Произвольные функции распределения
3	Основной математический аппарат	Суммы и функции от сумм	Расстояния и алгоритмы оптимизации [162, 226]
4	Источники постановок новых задач	Традиции, сформировавшиеся к середине XX в.	Современные прикладные потребности анализа данных, актуальные в XXI в.

№	Характеристика	Старая парадигма	Новая парадигма
5	Отношение к вопросам устойчивости выводов	Практически отсутствует интерес к устойчивости выводов	Развитая теория устойчивости (робастности) выводов [103, 176, 230]
6	Оцениваемые величины	Параметры распределений	Характеристики, функции и плотности распределений, зависимости, правила диагностики и др.
7	Возможность применения	Наличие повторяющегося комплекса условий	Наличие обоснованной вероятностно-статистической модели
8	Центральная часть теории	Статистика числовых случайных величин	Статистика нечисловых данных [162, 226]
9	Роль информационных технологий	Только для расчёта таблиц (информатика находится вне статистики)	Инструменты получения выводов (датчики псевдослучайных чисел, размножение выборок, в том числе бутстреп и др.) [183, 197]
10	Точность данных	Данные полностью известны	Учёт неопределённости данных, в частности, интервальности и нечёткости [254, 255]
11	Типовые результаты	Предельные теоремы (при росте объёмов выборок)	Рекомендации для конкретных объёмов выборок
12	Вид постановок задач	Отдельные задачи оценивания параметров и проверки гипотез	Высокие статистические технологии (технологические процессы анализа данных) [128, 190]
13	Стыковка алгоритмов	Не рассматривается	Весьма важна при разработке процессов анализа данных
14	Роль моделирования	Мала (отдельные системы аксиом)	Системы моделей — основа анализа данных [136]
15	Анализ экспертных оценок	Отдельные алгоритмы	Прикладное «зеркало» общей теории [161, 227]
16	Роль методологии	Практически отсутствует	Основополагающая [126, 214, 230]

Переход к новой парадигме математических методов исследования является научной революцией в этой области. Он влечёт выставление определённых требований к математическим моделям и методам исследования [250].

5.6. Системная нечёткая интервальная математика

К публикациям по новой парадигме математических методов (варианты — математического моделирования, прикладной статистики, математической статистики и др.) примыкают работы по системной нечёткой интервальной математике, в которых раскрывается одна из основных сторон новой парадигмы. Основные публикации — две монографии [254, 255]. Термин «системная нечёткая интервальная математика» был введён нами (профессором Е. В. Луценко и автором данной монографии) в 2013 г. [252, 253]. Рассмотрим основные идеи системной нечёткой интервальной математики.

Начнём с обсуждения свойств математических, прагматических и компьютерных чисел. Для описания фактов реальности часто используют числа. Какие именно? В математике выделяют натуральные, рациональные, действительные (вещественные) числа. Обсудим некоторые их свойства, оставив без внимания другие сравнительно редко используемые виды чисел — комплексные, кватернионы, трансфинитные.

Ещё в Древней Греции было установлено, что натуральных чисел бесконечно много. С теоретической точки зрения ясно, что дробей и вещественных чисел — также бесконечно много. Но это в математике. А на практике мы пользуемся всего лишь такими числами, в которых значащих десятичных цифр — конечное число. Более того, обычно значащих десятичных цифр совсем немного — пять, семь, не более десяти. Таких чисел — конечное число, хотя и довольно большое — миллионы и миллиарды.

Таким образом, математических чисел (имеющихся в математических теоретических системах) — бесконечно много, а прагматических (которые мы применяем в практических расчётах) — конечное число. Этот разрыв между математикой и практикой имеет разнообразные последствия.

Прагматические числа записываются конечным (как правило, не более 10) набором значащих цифр не только из-за сложности записи, но и потому, что ограничена точность измерений (наблюдений, испытаний, анализов, опытов, обследований).

Нельзя записать с помощью конечного набора цифр постоянно используемые в различных разделах математики трансцендентные числа (отношение длины окружности к диаметру, основание натуральных логарифмов и др.). Нельзя записать и иррациональные числа, например, длину диагонали квадрата с единичным основанием.

Числа, используемые в компьютерных расчётах, также отличаются от математических. Компьютерные числа примыкают к прагма-

тическим, хотя могут использовать большее число бинарных разрядов. Принципиально важным является наличие «машинного нуля», т. е. такого числа, что все положительные результаты расчётов, меньшие машинного нуля, считаются равными 0. Как следствие, бесконечный ряд, слагаемые которого — обратные величины натуральных чисел, в математике имеет бесконечную сумму (другими словами, он расходится), а при вычислении на компьютере — конечную, поскольку все слагаемые, начинающиеся с некоторого, обнуляются.

Как преодолеть разрыв? Необходима разработка новой математической теории. Назовём её теорией прагматических чисел. Обсудим моделирование связей математических и прагматических чисел. Есть два подхода. Во-первых, прагматические числа можно моделировать дискретными математическими моделями. В частности, использовать таблицы сопряжённости, теорию информации, теорию систем, системно-когнитивный анализ [61]. При таком подходе считается, что исходные данные взяты из заданного конечного множества. В рамках рассматриваемого подхода разработано большое число методов анализа данных.

Во-вторых, можно моделировать связи между прагматическими и математическими числами с целью использовать глубоко разработанный аппарат непрерывных и дифференцируемых переменных и функций. В рамках второго подхода рассмотрим ряд моделей, в которых прагматические числа рассматриваются как приближенные значения математических.

В модели группировки значения дискретной переменной порождаются в результате группировки значений непрерывной переменной. Например, фиксируем температуру 15,0 (градусов Цельсия), если значения непрерывной переменной больше 14,50 и не превосходят 15,50. Здесь границы между интервалами группировки заранее заданы и не зависят от значения непрерывной переменной. В математической статистике такие модели рассматриваются с XIX в. (например, поправки Шеппарда при анализе сгруппированных данных).

В моделях интервального математического анализа, прежде всего в статистике интервальных данных, значения прагматического и математического чисел различаются не более чем на заданное малое число. При этом границы между интервалами группировки зависят от значения непрерывной переменной. Статистика интервальных данных развивается с 1980-х гг. Она принципиально отличается от математической статистики первой половины XX в. В частности, в статистике интервальных данных отсутствуют состоятельные статистические оценки, введено понятие рационального объёма выбор-

ки, превышать который нерационально. Связано это с тем, что максимально возможное расхождение значений статистик, рассчитанных по прагматическим и математическим числам (т. е. так называемая нотна — одно из основных понятий статистики интервальных данных) не стремится к 0 при росте объёма выборки.

Третий тип моделей строится на основе теории нечётких множеств, математический аппарат которой активно развивается с 1960-х гг., а предыстория начинается со времён Древней Греции [242]. Расхождения между функциями от прагматических и математических чисел изучаются как нечёткие объекты.

Иногда утверждают, что теория вероятностей и теория нечётких множеств — две разные области математики. Это не так. Ещё в 1970-х гг. установлено, что теория нечётких множеств в некотором смысле сводится к теории случайных множеств и тем самым к теории вероятностей [160]. Однако этот фундаментальный факт пока мало влияет на алгоритмы решений практических задач — они остаются различными для применений теории нечёткости и для применений вероятностно-статистических моделей и методов.

Моделированию связей математических и прагматических чисел посвящена монография «Системная нечёткая интервальная математика» 2014 г., подготовленная нами совместно с профессором Е. В. Луценко [254], и продолжающая её монография 2022 г. [255]. Названия монографий констатируют выделение основного (на современном этапе) стержня математики как развивающейся науки. Мы рассматриваем системную нечёткую интервальную математику как основу математики XXI в. [222]. Она на новом уровне и в новом направлении развивает основные концепции математики предыдущего тысячелетия. Нечёткие и интервальные числа — основа системной нечёткой интервальной математики. Обсудим такое базовое понятие для математики XXI в., как система.

В переводе с древнегреческого система — это некое целое, составленное из частей; соединение. Другими словами, система — это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство. Термин «система» целесообразно использовать в тех случаях, когда нужно подчеркнуть, что что-то является большим, сложным, во многих случаях не полностью сразу понятным, при этом целым, единым. В отличие от понятий «множество», «совокупность» понятие системы подчёркивает упорядоченность, целостность, наличие закономерностей построения, функционирования и развития. Свойства системы не сводятся к сумме свойств её элементов. Используют специальный

термин «эмерджентность» для обозначения появления у системы свойств, не присущих её элементам в отдельности; несводимость свойств системы к «сумме» свойств её компонентов.

Такие термины, как анализ систем, системная математика, системный анализ, в частности, системный анализ данных, имеют практически совпадающее содержание, их, по нашему мнению, можно рассматривать как синонимы. Близки к ним системотехника и системное проектирование. Часть этого направления — теория принятия решений.

Современный этап развития этого научного направления — это автоматизированный системно-когнитивный анализ. Приведём часть аннотации к базовой публикации по этой стержневой области системного анализа.

«Системный анализ представляет собой современный метод научного познания, общепризнанный метод решения проблем. Однако возможности практического применения системного анализа ограничиваются отсутствием программного инструментария, обеспечивающего его автоматизацию. Существуют разнородные программные системы, автоматизирующие отдельные этапы или функции системного анализа в различных конкретных предметных областях.

Автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) представляет собой системный анализ, структурированный по базовым когнитивным операциям, благодаря чему удалось разработать для него математическую модель, методику численных расчётов (структуры данных и алгоритмы их обработки), а также реализующую их программную систему — систему «Эйдос». Система «Эйдос» разработана в постановке, не зависящей от предметной области, и имеет ряд программных интерфейсов с внешними данными различных типов. АСК-анализ может быть применён как инструмент, многократно усиливающий возможности естественного интеллекта во всех областях, где используется естественный интеллект. АСК-анализ был успешно применён для решения задач идентификации, прогнозирования, принятия решений и исследования моделируемого объекта путём изучения его модели во многих предметных областях, в частности в экономике, технике, социологии, педагогике, психологии, медицине, экологии, ампелографии, геофизике, энтомологии, криминалистике и др.» [61]. Система «Эйдос» описана в ряде работ по ссылкам: <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>, http://lc.kubagro.ru/aidos/_Aidos-X.htm. Доступ к этой системе по адресу http://lc.kubagro.ru/Installation_Eidos.php.

Отметим, что методы анализа данных могут быть развиты на основе теории информации. Это утверждение продемонстрировано в подходе С. Кульбака [56], который в своё время высоко оценивал А. Н. Колмогорова.

Обсудим некоторые распространённые заблуждения.

Верно ли, что любая математическая теория строится на определённой аксиоматике? Достаточно просмотреть несколько математических работ, чтобы убедиться в том, что практически никто из их авторов не формулирует аксиомы и правила вывода. Но при этом неявно предполагается, что привычные математические теории — например, дифференциальное и интегральное исчисления или предельные теоремы теории вероятностей, — не содержат противоречий. Т. е. аксиоматика рассматривается как идеал, она где-то вдалеке, на горизонте познания. В частности, из-за того, что абсолютно строгие рассуждения являются крайне длинными. Например, для строгого введения понятия «один» коллективу математиков, действовавших под псевдонимом Н. Бурбаки, понадобился целый том в серии монографий «Элементы математики».

Некоторые математические теории по традиции исходят из нерациональных предпосылок. Например, базовым понятием теории вероятностей является понятие вероятностного пространства, состоящего из пространства элементарных событий, сигма-алгебры измеримых множеств (событий) в нём и вероятностной меры, определённой на элементах этой сигма-алгебры. При использовании этого понятия приходится держать в уме возможность появления неизмеримых множеств на различных этапах рассуждений. Вместе с тем в случае, когда пространство элементарных событий состоит из конечного числа элементов, можно считать все его подмножества измеримыми. Как следствие, можно избавиться от опасности появления неизмеримых множеств. Так следует ли заниматься вопросами измеримости? На наш взгляд, от них можно избавиться на этапе выбора изучаемой модели, приняв, что используются конечные множества. Переходить к бесконечным множествам имеет смысл только тогда, когда такой переход облегчает рассуждения (как при переходе от сумм к интегралам). Примерно так говорил автору данной монографии А. Н. Колмогоров полвека назад.

Другой пример: вместо метрических пространств естественно применять пространства с так называемыми «естественными показателями близости», поскольку неравенство треугольника, как правило, не является необходимым для проведения рассуждений.

Обсудим соотношение двух понятий — «схема рассуждений» и «теорема». Теорема отличается от схемы рассуждений добавлением условий, при которых теорема верна. Примером схемы является центральное утверждение теории вероятностей: распределение централизованной и нормированной суммы независимых случайных величин приближается стандартным нормальным распределением при увеличении числа слагаемых. Добавляя те или иные условия, получаем различные варианты Центральной предельной теоремы (ЦПТ) теории вероятностей. На протяжении нескольких веков условия справедливости ЦПТ совершенствовались [16]. Надо подчеркнуть важность формирований перспективных схем рассуждений, указывающих путь дальнейшим исследованиям по выявлению условий, при которых теорема верна. Формирование перспективной схемы рассуждений — не менее важное достижение, чем доказательство теоремы при тех или иных условиях.

Мы показали, что «столбовая дорога» будущей математики — это системная нечёткая интервальная математика. Она активно развивается многими исследователями.

Однако нельзя не сказать о том, что новое развивается в борьбе со старым. Традиционный подход оторванной от потребностей практики чистой математики в настоящее время господствует в учебных заведениях и немногочисленных научных учреждениях в этой области науки. Специалисты, занимающиеся перспективными исследованиями, обычно выдавливаются из окружающей их инертной среды и переходят в организации практической направленности, в которых реализуют свои идеи. На примере элементарной геометрии (геометрии прямых и окружностей) мы видим, как традиция поддерживает отжившие области математики. Нельзя ожидать быстрого отмирания устаревших отраслей математики, поскольку за них будут держаться их адепты, неспособные перестроиться. Через несколько десятилетий всё будет ясно, но в течение этого времени необходимо энергично действовать в новых направлениях. Надо продолжать активно развивать центральную область математики XXI в. — системную нечёткую интервальную математику.

5.7. Научно-учебная литература, подготовленная в соответствии с новой парадигмой

В 1992 г. на базе секции статистических методов Всесоюзной статистической ассоциации была организована Российская ассоциация статистических методов, а в 1996 г. — Российская академия ста-

тистических методов. В соответствии с новой парадигмой (тогда ещё не вполне осознанной) проводились научные исследования, публиковались статьи, по этой тематике были организованы семинары и конференции. Однако в соответствии с ситуацией 1990-х гг. размах работ сокращался, как и число участвующих в них исследователей. Поэтому на рубеже тысячелетий нами было принято решение сосредоточить усилия на подготовке научной и учебной литературы, соответствующей новой парадигме. Поскольку отсутствовали монографические издания по рассматриваемой тематике, соответствующие новой парадигме математических методов исследования, то пришлось начать с подготовки монографий энциклопедического типа. Поскольку они были снабжены сравнительно небольшими по объёму методическими разделами, то их можно было воспринимать и как учебники. Важно было то, что издательства гораздо охотнее издавали (и издают) учебники, чем научные монографии — больше потенциальных читателей. Сказанное объясняет большое количество ссылок на наши учебники (по существу — монографии) в научных публикациях (см. РИНЦ).

Рассмотрим издания, выпущенные с целью изложения научных результатов, полученных в рамках новой парадигмы математических методов исследования. В данном разделе сосредоточимся на научной стороне этой деятельности. Обсуждение с точки зрения преподавания проведено в следующей главе 7 данной монографии.

Первым был выпущенный в 2002 г. учебник по эконометрике [129], переизданный в 2003 г. и в 2004 г. Четвёртое издание «Эконометрики» [140] было в значительной мере переработано. Оно соответствует первому семестру курса, в отличие от первых трёх изданий, содержащих материалы для годового курса. В четвёртое издание [140] и его переиздание в 2024 г. [244] включены новые разделы, полностью обновлена глава про индекс инфляции, добавлено методическое обеспечение. На реальное преподавание современной эконометрики нацелен и подготовленный позже учебник по эконометрике, выпущенный вместе с З. С. Агаларовым и выдержавший уже три издания [1].

В нашем фундаментальном курсе 2006 г. по прикладной статистике [133] в рамках новой парадигмы рассмотрены как нечисловая статистика и статистика интервальных данных, так и классические разделы прикладной статистики, посвящённые методам обработки элементов выборок, лежащих в линейных пространствах, — чисел, векторов и функций (временных рядов). Учебник переиздан в 2022 г. [225].

В том же 2006 г. в рамках новой парадигмы был выпущен курс теории принятия решений [2006б]. Его сокращённый (в 1,5 раза) вариант вышел годом раньше [130].

В соответствии с потребностями практики в России в 2005 г. введена новая учебная специальность 220701 «Менеджмент высоких технологий», относящаяся к тогда же созданному направлению подготовки 220700 «Организация и управление наукоёмкими производствами», предназначенному для обеспечения инженерами-менеджерами высокотехнологичных предприятий. Большинство студентов Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н. Э. Баумана обучаются по этой специальности. Общий взгляд на неё с точки зрения новой парадигмы математических методов исследования представлен в учебнике [42].

Государственным образовательным стандартом по специальности «Менеджмент высоких технологий» предусмотрено изучение дисциплины «Организационно-экономическое моделирование». Одноимённый учебник подготовлен нами и выпущен в МГТУ им. Н. Э. Баумана в трёх частях (томах). Первая из них [139] посвящена сердцевине новой парадигмы — нечисловой статистике. Её прикладное «зеркало» — вторая часть [147], современный учебник по экспертным оценкам. В третьей части [155] наряду с основными постановками задач анализа данных и конкретными статистическими методами анализа данных классических видов (чисел, векторов, временных рядов) рассмотрены вероятностно-статистические модели в технических и экономических исследованиях, медицине, социологии, истории, демографии, а также метод когнитивных карт (т. е. статистические модели динамики).

В названиях ещё двух учебников есть термин «организационно-экономическое моделирование». Это вводная книга по менеджменту [141] (переиздана в 2023 г. [240]) и современный учебник по теории принятия решений [148], в которых содержание соответствует новой парадигме, в частности, подходам трёхтомника по организационно-экономическому моделированию [139, 147, 155]. Отметим, что в учебнике [148] значительно большее внимание по сравнению с более ранним учебником по теории принятия решений [134] уделено теории и практике экспертных оценок, в то время как общие проблемы менеджмента выделены для обсуждения в отдельное издание [141].

К рассмотренному выше корпусу монографий-учебников примыкают справочник по минимально необходимым для восприятия рассматриваемых изданий понятиям теории вероятностей и приклад-

ной математической статистики [143] и книги по промышленной и экологической безопасности [232] и [264]. В этих книгах большое место занимает изложение научных результатов в соответствии с новой парадигмой, в частности, активно используются современные статистические и экспертные методы, математическое моделирование. Опубликовано ещё несколько изданий, например, учебное пособие по оптимальным методам в экономике и управлении [136], но от их рассмотрения здесь воздержимся (подробности приведены в сводке «Шестьдесят лет в мире формул» [246]).

Публикация научно-учебной литературы на основе новой парадигмы математических методов исследования шла непросто. Зачастую издать определённую книгу удавалось с третьего-четвёртого раза (подробности см. в [246]). Неоценима поддержка Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» и МГТУ им. Н. Э. Баумана в целом, а также Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию.

Все перечисленные выше монографии, учебники, учебные пособия, статьи, материалы докладов имеются в интернете в свободном доступе. На странице <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=3059> приведён полный список научных и методических работ А. И. Орлова, актуальный каталог трудов с возможностью гарантированной загрузки имеется на ресурсе <https://orlovs.pp.ru/work/index.php>.

Отметим ещё раз, что первая информация о новой парадигме появилась в печати сравнительно недавно — в 2011 г., когда публикация значительной части базовых книг с изложением научных подходов и результатов на основе новой парадигмы математических методов исследования была уже практически закончена. Ряд указанных выше публикаций вышел позже, но первые издания основных книг появились ранее 2011 г. Разработчики новой парадигмы не без оснований опасались, что им могут помешать довести работу до конца. В своей тактике публикаций они во многом следовали Гауссу, который воздерживался от публикации работ по неевклидовой геометрии, опасаясь «криков беотийцев» [36, с. 91].

Опасения, увы, имели основания. Приведём информацию только об одной попытке помешать распространению информации о новой парадигме математических методов исследования. Одним из наиболее часто посещаемых в настоящее время информационных ресурсов является Википедия (Роскомнадзор: иностранный владелец ресурса нарушает закон РФ). В июне 2015 г. была сделана попытка удалить из Википедии статью «Орлов Александр Иванович (учёный)». Выставивший статью на удаление некий Булатов («номинатор») написал:

«Значимость учёного возможна, но подобный торжественно-помпезный стиль совершенно неприемлем для Википедии. Статья требует полного переписывания в нейтральном стиле с привлечением независимых источников. — Bulatov 18:18, 9 июня 2015 (UTC)». Нетрудно понять причины поведения номинатора. Как было установлено, номинатор — Булатов Александр Вячеславович — работал (судя по <http://www.ipu.ru/node/116>) в Институте проблем управления РАН в лаборатории № 45 под названием «Математические методы исследования оптимальных управляемых систем». Поэтому он так резко отреагировал на фразу «Разработана новая парадигма математических методов исследования», в которой есть значительное совпадение с названием научного подразделения, в котором он числится. Следовало бы ожидать, что кандидат физико-математических наук А. В. Булатов познакомится с новой парадигмой, которой посвящено достаточно публикаций (см., например, публикации в Российском индексе научного цитирования). Или обратится к руководству своего института за разъяснениями. Например, к замдиректора ИПУ РАН члену-корреспонденту РАН Д. А. Новикову (в настоящее время академик РАН Д. А. Новиков — директор ИПУ РАН), соавтору профессора А. И. Орлова по ряду работ. Вместо этого кандидат физико-математических наук А. В. Булатов потребовал удаления статьи из-за одной фразы. Очевидно, обсуждению на научном уровне вопроса о новой парадигме в Википедии не место. Обсуждать его надо на научных собраниях, в научной печати. Если кандидат физико-математических наук А. В. Булатов не согласен с профессором А. И. Орловым, он может написать об этом статью или выступить на конференции. [Этот абзац, разъясняющий суть дела, был сразу же кем-то удалён из обсуждения в Википедии].

Ярлык «К удалению» висел до октября 2015 г. С полным текстом обсуждения можно познакомиться на интернет-ресурсе «Википедия: К удалению/9 июня 2015». В обсуждении наряду со здравыми мнениями во всей красе показали себя лица, ничего не понимающие в научной деятельности. Отстоять само существование статьи «Орлов Александр Иванович (учёный)» удалось, лишь затратив десятки квалифицированных трудо-часов (объём обсуждения превышает объём настоящей главы). При этом статья в Википедии испорчена большим числом безграмотных поправок. К сожалению, правки вандалов продолжают до настоящего времени.

Википедию как информационный ресурс целесообразно обсудить с двух сторон. Во-первых, в ней содержится много полезной информации. Именно поэтому он является одним из самых посещаемых

ресурсов интернета. Во-вторых, этой информации не всегда можно доверять, поскольку править материалы Википедии может кто угодно, в том числе лица низкой квалификации и противники России (Роскомнадзор: иностранный владелец ресурса нарушает закон РФ). Поэтому автор данной монографии запрещает своим студентам ссылаться на Википедию в своих работах.

На основе сказанного выше в этой главе можно констатировать, что к настоящему моменту рекомендация Учредительного съезда Всесоюзной статистической ассоциации (1990) по созданию комплекта научно-учебной литературы на основе новой парадигмы математических методов исследования выполнена. Предстоит дальнейшая большая работа по широкому внедрению новой парадигмы организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики в научные исследования (теоретические и прикладные) и преподавание.

ЧАСТЬ III
ЧЕТВЁРТАЯ НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ
В МАТЕМАТИКЕ И ПРОБЛЕМЫ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОВОГО ЗНАНИЯ

Выдвижение новой парадигмы в математических методах исследования, осознание начала научной революции на её основе, введение понятия «высокие статистические технологии» для обозначения базы для этой революции относятся к XXI в.

Необходимо выявить суть научных революций вообще и применительно к математическим методам исследования в частности. Эта тематика рассматривается в данной главе 6.

Одна из основных задач современности в области математических методов исследования — обеспечить переход высоких статистических технологий из науки в преподавание. В главе 7 проанализированы проблемы преподавания высоких статистических технологий. В условиях бурного развития цифровой экономики, экономики знаний и технологий анализа больших данных высокие статистические технологии приобретают всё большее значение.

Глава 6

НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для рассмотрения состояния и перспектив развития статистических методов в экономике нам понадобится понятие «научная революция». Сначала обсудим основные идеи в этой области.

6.1. Кратко об основных идеях

По словам одного из лидеров историко-эволюционистского направления в философии науки Т. Куна: «Научные революции — это некумулятивные эпизоды развития науки, во время которых старая парадигма замещается целиком или частично новой парадигмой, несовместимой со старой» [57, с. 129]. Понятие «научная революция» широко обсуждается специалистами в различных областях, прежде всего, философами (см., например, [308]). Хорошо известны две научные революции в физике (первая — при переходе от Аристотеля к Ньютону, вторая — в XX в., связанная с созданием квантовой механики, ядерной физики и теории относительности). Революция в биологии обусловлена появлением генетики, революция в истории — созданием новой статистической хронологии.

В этом ряду — и революция в математических и статистических методах исследования [243, 249, 250], основанная на новой парадигме в этой научно-практической области. В более ранних публикациях мы использовали термин «новая парадигма», но не термин «научная революция». Как пишет Т. Кун (см. выше), понятия, соответствующие этим терминам, неразрывно связаны. На примере прикладной математической статистики сравнение по 16 основным характеристикам старой и новой систем идей, взглядов и понятий (т. е. старой и новой парадигм) проведено нами в 2013 г. в статье [159] (см. главу 5 выше).

Необходимо обсудить различные аспекты революции в математических методах исследования, которым посвящены, в частности, многочисленные статьи в «Научном журнале КубГАУ» и журнале «Заводская лаборатория. Диагностика материалов».

Мы не раз обращались к обсуждению новой парадигмы математических и статистических методов исследования, в частности,

в [171, 201]. Ей предшествовали две парадигмы, которые мы в [243] обозначили как примитивная и устаревшая.

Первая из них соответствует описательной стадии развития статистической науки, на которой использовались те или иные отдельные эвристические методы анализа данных. Например, построение таблиц, расчёт выборочного среднего арифметического, метод наименьших квадратов. Первая научная революция в математических методах исследования — это появление классической теории математической статистики, которая к середине XX в. была в основном разработана. Соответствующая ей парадигма отражена, в частности, в учебниках по теории вероятностей и математической статистике, по которым и в настоящее время учатся студенты различных специальностей.

Эту парадигму мы считаем устаревшей. На смену ей пришла новая (современная) парадигма, основы которой были выявлены в научно-общественном движении 1980-х гг., приведшем, в частности, к созданию Всесоюзной статистической ассоциации. Это движение было непоправимо заторможено в 1990-х гг. из-за проблем, порождённых развалом Советского Союза. Некоторое возрождение наступило лишь в XXI в. Появилось большое число монографий, учебников, научных статей, подготовленных в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования.

Надо отметить, что в развитии математики (как более широкой научной области, чем математические методы исследования) можно выделить ряд научных революций. Первая — при переходе от эмпирических алгоритмов расчётов к появлению математики как науки. В Древней Греции появились теоремы, доказательства, аксиомы, прежде всего в геометрии.

Вторая революция — создание дифференциального и интегрального исчисления, введение в математику движения.

Третья — переход на язык теории множеств, повышенное внимание к аксиоматическим теориям (по Гильберту и Гёделю), переход к рассмотрению математики как науки о формальных системах, в частности, отделение математики от естествознания.

Сейчас, по нашему мнению, происходит четвёртая революция — на основе перехода к новой парадигме математических и статистических методов исследования.

Дискуссии о научных революциях продолжаются (см., например, статью [319]).

6.2. Системная нечёткая интервальная математика и статистика нечисловых данных — ядро научной революции в математических методах исследования

Новая парадигма математических и статистических методов исследования раскрыта в системной нечёткой интервальной математике [254, 255]. Эту новую научную область мы рассматриваем как основу математики XXI в. [222]. Она служит базой для разработки современного инструментария математических и статистических методов исследования. Подведём итоги рассмотрения этой тематики в предыдущих главах данной монографии.

В [243] внимание было сосредоточено на двух революционных моментах. Первый — переход от прежних математических чисел к прагматическим числам, характерной чертой которых является нечёткость (размытость, расплывчатость) [242, 252]. В прикладной статистике речь идёт, прежде всего, о переходе к статистике интервальных данных [163]. Второй момент связан с тем, что распределения реальных данных, как правило, нельзя считать нормальными (гауссовскими) [199]. Как следствие, необходимо развивать и широко использовать непараметрические методы статистики [192].

В ходе научной революции центральной областью прикладной статистики стала статистика нечисловых данных [219]. Этот термин имеет синонимы: статистика объектов нечисловой природы, нечисловая статистика. В этой области элементы выборки лежат в нелинейных пространствах, их нельзя складывать и умножать на числа. В инструментарии классических разделов математических методов исследования — в статистике чисел, векторов (в многомерном статистическом анализе), функций (в статистике случайных процессов и временных рядов) — центральное место занимали суммы и функции от сумм случайных элементов, лежащих в линейных пространствах. В статистике нечисловых данных подобных сумм нет, инструментарий основан на использовании расстояний и задач оптимизации.

В XXI в. основная часть публикаций по прикладной статистике в разделе «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», основном месте публикации отечественных исследований в области теории статистических методов, посвящена статистике нечисловых данных [204].

К этой области относится, в частности, современная теория измерений. Статистические методы анализа данных являются адекват-

ными тогда и только тогда, когда полученные с их помощью выводы инвариантны относительно допустимых преобразований шкал, в которых измерены анализируемые данные. Основные шкалы — это шкалы наименований, порядковые, интервалов, отношений, разностей. Они позволяют выделить области соответствующих им методов анализа статистических данных [209].

6.3. Компьютерные технологии — инструмент научной революции

В ходе революции в математических методах исследования резко возросла роль компьютерной техники, информационно-коммуникационных технологий, искусственного интеллекта [183]. В рамках устаревшей парадигмы они использовались в основном лишь для расчётов таблиц функций распределения и критических значений статистических критериев, в то время как в настоящее время стали одним из основных инструментов исследователя [214].

Мощным инструментом разработчиков методов в области прикладной статистики являются предельные теоремы теории вероятностей — закон больших чисел, центральная предельная теорема и т. п. Ориентированные на математику специалисты иногда призывают только ими и ограничиться. Однако для практического использования статистических методов предельных теорем недостаточно. Необходимо найти границу — установить, начиная с какого объёма выборки можно пользоваться результатами, полученными с помощью предельных теорем. И выяснить, как принимать решения, если объём имеющихся данных меньше этой границы.

Теоретические оценки скорости сходимости обычно значительно преувеличивают такие границы (см., например, [261]). В соответствии с новой парадигмой исследователю доступна универсальная «отмычка» — метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), другими словами, имитационное моделирование. Он основан на использовании последовательности псевдослучайных чисел, свойства которых напоминают свойства рассматриваемых в теории вероятностей случайных величин. Основная идея применения этого интеллектуального инструмента состоит в последовательном выполнении следующих этапов: разработка вероятностно-статистической модели реального явления или процесса; планирование статистического испытания, в котором случайные величины заменяются псевдослучайными, полученными с помощью того или иного датчика; проведе-

ние большого числа испытаний (тысяч или миллионов); анализ полученных результатов расчётов.

Предельные теоремы — только необходимый первый шаг. Под «малой выборкой» понимают такую выборку, для которой нельзя применять выводы, основанные на предельных теоремах. В каждой конкретной задаче возникает необходимость разделить конечные объёмы выборки на два класса — те, для которых можно применять предельные теоремы, и те, для которых делать это нельзя из-за риска получения неверных выводов. Другими словами, найти границу между «большой» и «малой» выборками. Во втором случае необходимо вычислять распределения статистик при конкретных объёмах выборок. Вычислять с помощью программных продуктов, поскольку традиционное использование таблиц невозможно в принципе из-за того, что они имели бы непрактично большой объём. На примере проверки однородности двух выборок по критерию Смирнова [258] продемонстрирована реализация решения проблемы, рассматриваемой в данном абзаце.

В устаревшей парадигме исследователь задаёт уровень значимости (вероятность того, что нулевая гипотеза будет отвергнута, в то время как она верна). Затем он находит из таблиц соответствующее критическое значение, которое сравнивает со значением статистики критерия, на основе чего и принимает решение о принятии или отклонении нулевой гипотезы. Поскольку распределения ранговых статистик дискретны, то обычно невозможно выдержать заданное значение уровня значимости [198]. Современный подход предполагает переход от уровня значимости к достигаемому уровню значимости, т. е. к наименьшей величине уровня значимости, при которой нулевая гипотеза отвергается для данного значения статистики критерия [143]. В перспективе программные продукты позволят находить достигаемый уровень значимости для любых наблюдаемых выборок.

6.4. Смена парадигм в развитии статистических методов

Современная парадигма в этой области предполагает значительную роль методологии при разработке и применении математических и статистических методов исследования [126, 184, 207]. Под методологией согласно [97] понимаем концепцию деятельности. На основе рассматриваемой нами в данной монографии новой парадигмы сформированы основные требования к статистическим методам анализа данных, позволяющие обеспечить построение адекватных вероят-

ностно-статистических моделей реальных явлений и процессов, а затем обосновать выбор методов анализа данных [233, 239, 250]. Например, требование использовать непараметрические методы статистики вместо параметрических (в частности, основанных на непроверяемом предположении о нормальности распределений результатов измерений) — это типичное методологическое требование.

Особенностью современного этапа развития математических методов исследования является сосуществование работ, выполненных в рамках всех рассматриваемых парадигм — примитивной, устаревшей и современной. Так, как уже говорилось, практически все публикации Федеральной службы государственной статистики (Росстата) выполнены согласно примитивной парадигме. Они содержат в основном таблицы, диаграммы и графики, как и работы XIX в. Однако необходимо отметить, что их непосредственный анализ статистических данных согласно примитивной парадигме в ряде случаев позволяет получить полезные для практики выводы.

Как уже отмечалось, устаревшая парадигма была господствующей в статистической теории первой половины прошлого века. Вначале математическая статистика (созданная как самостоятельная наука в начале XX в.) являлась параметрической. Она занималась проблемами оценивания и проверки гипотез применительно к постановкам, в которых предполагалось, что распределения элементов выборок принадлежат тому или иному параметрическому семейству. К середине XX в. параметрическая статистика была в основном разработана. Однако существенно, что некоторые важные результаты были получены гораздо позже, вплоть до современного периода развития статистической науки. К ним относятся, например, работы автора данной монографии, в которых обоснована замена оценок максимального правдоподобия одношаговыми оценками [194], а также публикации по методам оценивания параметров гамма-распределения [238, 248] и бета-распределения [237]. В настоящее время преподавание статистических методов зачастую останавливается на параметрической статистике. Как следствие, значительная часть прикладных работ исходит из устаревшей парадигмы. Например, проверку гипотезы о равенстве математических ожиданий двух выборок проводят с помощью критерия Стьюдента, а не непараметрического критерия Крамера — Уэлча [195]. Напомним, что критерий Стьюдента был разработан при двух предположениях — нормальности распределений элементов выборок и равенства дисперсий в двух выборках. Для реальных данных, т. е. результатов измерений, наблюдений, испытаний, анализов, опытов,

обследований, эти предположения обычно не выполняются. Влияние отклонений от указанных выше предпосылок на распределение формально рассчитанного критерия Стьюдента проанализировано, в частности, в статье [195]. Зачастую влияние отклонений весьма существенно. Тем не менее применение неадекватных методов зачастую позволяет успешно решать конкретные прикладные задачи.

В настоящее время на переднем крае математико-статистической науки находятся исследования по непараметрической и нечисловой статистике, исходящие из современной парадигмы. Отнюдь не все научные проблемы в этой области уже решены. Например, неизвестен аналог Центральной предельной теоремы в случае нечисловых данных общей природы (хотя доказан закон больших чисел). Необходима дальнейшая разработка моделей и методов анализа совпадений элементов выборок при применении непараметрических ранговых статистик [206]. Обратим внимание на нерешённые задачи, включённые в «цахкадзорскую тетрадь» [23] (название объясняется тем, что первоначальный список нерешённых задач был составлен участниками конференции по статистическим методам в армянском посёлке Цахкадзор), а также поставленные в [127].

Под научной революцией в той или иной области науки понимают новый этап её развития. Он предполагает радикальное изменение процесса и содержания научного познания, связанное с переходом к новой системе фундаментальных понятий и методов, к новой научной картине мира, т. е. к новой парадигме.

При развитии статистических методов смена парадигм осуществлялась в результате научных революций. Таким образом, в этой области мы выделяем две научные революции. Первая — при переходе от примитивной парадигмы, соответствующей описательному этапу развития статистической науки, к ныне устаревшей парадигме параметрической статистики. Вторая — при преодолении параметрической статистики путём перехода к непараметрической и нечисловой статистике. Мы выделяли четыре стадии развития статистической науки — описательную (до 1900 г.), параметрическую (1900–1933), непараметрическую (1933–1979) и нечисловую (с 1979 г.). Современная парадигма соответствует двум последним стадиям. Эти две стадии сосуществуют, они не предполагают радикальных изменений процесса и содержания научного познания. При переходе от непараметрической статистики к статистике нечисловых данных происходит расширение сферы применения методов анализа данных, разрабатывается новый математический аппарат (см. главы 3 и 5 выше).

6.5. Исследования по философии математики

Смену парадигм в результате научных революций естественно обсуждать с точки зрения философии математики [50]. В работах профессиональных математиков можно найти ряд интересных рассуждений по различным вопросам философии и методологии математики, обычно в связи с историей этой науки.

В сборник работ [40] выдающегося математика А. Н. Колмогорова (1903–1987) включены его труды, связанные с историей развития математики. В частности, классические статьи «Математика» и «Развитие математики в СССР» из Большой Советской Энциклопедии. Значительный интерес представляют воспоминания Б. В. Гнеденко «Моя жизнь в математике и математика в моей жизни» [17] и Л. С. Понтрягина «Жизнеописание Льва Семёновича Понтрягина, математика, составленное им самим» [274]. Интересны и полезны книги основоположника кибернетики Н. Винера «Я, математик» [10] и создателя метода статистических испытаний (Монте-Карло) С. Улама «Приключения математика» [297].

В перечисленных книгах шла речь, прежде всего, об истории математики. Философские вопросы математики выходят на первый план в работах профессиональных математиков И. Р. Шафаревича [323, 324], Н. Н. Моисеева [79, 80], Ю. И. Манина [72], В. А. Успенского [298]. Из работ зарубежных авторов отметим работы Г. Вейля [8] и Г. Г. Харди [306].

Вполне естественно, что исследованиями по философии математики занимаются профессиональные философы. Выпущено довольно много квалифицированных работ. Отметим исследования В. Я. Перминова [271, 272], монографию Е. А. Беляева и В. Я. Перминова [2], работы Н. И. Жукова [22], В. А. Светлова [281], Вл. Д. Мазурова [64], сборник «Математика и опыт» под ред. А. Г. Барабашева [68], ряда зарубежных авторов [329, 330, 334].

Философский факультет МГУ им. М. В. Ломоносова с 2007 г. проводит всероссийские научные конференции «Философия математики: актуальные проблемы» [51, 303, 304]. В них мы принимали участие с докладами о новой парадигме прикладной математики [166] и о развитии системной нечёткой интервальной математики [253].

Доцент философского факультета МГУ им. М. В. Ломоносова Е. В. Косилова в материале [52] рассказывает о Московском семинаре по философии математики и его наиболее активных участниках. Она выделяет работы четырёх исследователей — Анатолия Николаевича Кричевца, Алексея Георгиевича Барабашева, Василия Яковлевича

Перминова и Владислава Алексеевича Шапошникова. Её основной вывод: «По мере того как представители старшего поколения принимают в спорах всё меньше участия, В. А. Шапошников выходит на позиции нашего ведущего философа математики». Поэтому вполне естественно, что в данной монографии мы много раз ссылаемся на работы В. А. Шапошникова, заведующего кафедрой философии естественных факультетов МГУ им. М. В. Ломоносова [31].

Отметим, что место философии математики в рамках различных философских систем [314] нас не будет интересовать. Мы рассматриваем парадигмы и революции в самой математике.

6.6. Научные революции в математике

Достаточно распространено следующее общее представление о смене парадигм в математике в результате научных революций, к которому мы присоединяемся. Опишем его без подробностей, которые можно найти в работах по истории математики.

Первоначально математические методы были частью практики решения задач, возникающих в ходе хозяйственной деятельности. Они отражали необходимость удовлетворения потребностей в счёте, в восстановлении границ между участками земли после разлива Нила, в строительстве зданий, храмов, пирамид. Применялись отдельные рецепты («делай так») без попыток создания общей теории. Эту стадию развития математики и соответствующую ей парадигму можно для простоты назвать египетской.

В результате научной революции в Древней Греции возникла математика как наука, с аксиомами (постулатами) и доказательствами теорем. Хорошо известны работы Евклида, Платона, Аристотеля, Диофанта, Фалеса и других исследователей. Установлена бесконечность ряда натуральных чисел. Была разработана элементарная геометрия, которая до сих пор изучается в средней школе. Эту стадию развития математики и соответствующую ей парадигму естественно называть древнегреческой или евклидовой.

Вторая научная революция в математике порождена созданием дифференциального и интегрального исчисления Ньютоном и Лейбницем. В математику было внесено понятие движения. Под названием «математический анализ» они изучаются всеми студентами. Для наименования стадии и парадигмы естественно использовать термин «ньютоновская». Среди великих учёных этой стадии выделим Эйлера и Гаусса.

Третья революция XIX–XX вв. связана с переноса внимания на создание математических структур и обоснованность математических утверждений. Была создана строгая теория действительных чисел (Вейерштрасс), появилась неевклидова геометрия, сделана попытка (Гильберт) перейти на аксиоматический метод (из системы аксиом выводятся все теоремы определённой области математики), которая была оспорена (теоремы Гёделя о неполноте). В соответствии с теорией множеств, основными базисными элементами математических структур стали числа и множества. Эту стадию и парадигму можно назвать классической (Лобачевского — Гильберта). Интересные рассуждения о третьей революции содержатся в работе Ф. Квинна [32]. В частности, он отмечает, что в её ходе произошло умаление роли интуиции в математической практике, идеалом стали формальные процедуры вывода в аксиоматических теориях. К настоящему времени стало совершенно ясно, что этот идеал недостижим, что не мешает профессиональным математикам успешно развивать свою науку. Отметим, что при подготовке, принятии и реализации управленческих решений большую роль играет интуиция, поэтому актуальными являются исследования по сравнению и применению технологий активации интуиции [100, 101, 259].

Данная монография посвящена четвёртой революции (при переходе от стадии Лобачевского — Гильберта к рождающейся современной стадии), в которой явным образом учитывается размытость (неопределённость) чисел и множеств, используемых для описания реальных явлений и процессов. В её ходе происходит переход от классической стадии к современной.

Важно отметить, что при каждой научной революции наряду с новыми идеями и методами продолжают использоваться прежние, но сфера их применения перестаёт быть всеобъемлющей.

В каждой конкретной области математики картина аналогична — естественным образом можно выделить стадии, переход от одной из них к следующей происходит в результате научных революций. Так обстоит дело, например, в области статистических методов (об этом подробно шла речь выше), в области обоснования математики.

Обсудим мнения специалистов в области философии математики о научных революциях в математике.

Спорам о революциях в математике посвящены статьи [317, 318]. Основная обсуждаемая многими авторами проблема кратко может быть сформулирована так. Остаётся ли всё сделанное в математике навсегда в ней как научная истина или же при научной революции происходит отбрасывание устаревших концепций и утвержде-

ний? Достаточно обратиться к истории математики, чтобы найти ответ.

Так, в Древнем Египте принимали как руководство к действию утверждение о том, что отношение длины окружности к диаметру (число π) равно 3. Это утверждение было отброшено в результате первой научной революции (в Древней Греции). В частности, Архимед в III в. до н. э. рассчитал нижнюю и верхнюю границы для числа π . А именно, он установил, что

$$\frac{223}{71} < \pi < \frac{22}{7},$$

а также разработал алгоритм для сколь угодно точного вычисления этого числа. В дальнейшем было установлено, что это число является трансфинитным, для его записи в десятичной системе исчисления нужно бесконечно много цифр. Однако при анализе реальных данных в расчётах приходится использовать лишь несколько цифр (например, полагать это число равным 3,14 или 3,1415926). В результате современной (четвёртой) научной революции в области математических методов исследования мы на новом витке диалектической спирали развития математики приходим к тому, что число π , являясь интервальным, используется с учётом конечного числа цифр (например, в виде интервала $[3,14; 3,15]$). Другой пример — в современной математике отброшен ряд утверждений Л. Эйлера о значениях сумм рядов [327].

Таким образом, ряд положений математики отброшен в результате развития математики. Но, конечно, подавляющее большинство утверждений сохранило свою правильность. Например, теорема Пифагора. Однако для корректного использования результатов элементарной геометрии необходимо требование справедливости Пятого постулата (о параллельных прямых).

Отметим, что одновременно сосуществуют несколько парадигм. Выше это продемонстрировано на примере статистических методов анализа данных. Аналогична ситуация и в физике. Научную революцию начала XX в. в этой науке связывают с появлением теории относительности и квантовой механики. Однако результаты расчётов на основе частной теории относительности отличаются от результатов расчётов на основе предыдущей парадигмы (на основе механики Ньютона) лишь для скоростей, сравнимых со скоростью света. Поэтому подавляющее большинство физических и инженерных расчётов не требует привлечения идей частной теории относительности, поскольку нет практической потребности в отказе от механики Нью-

тона. Любопытно, что столь оторванная от практики теория, как частная теория относительности, получила такую широкую известность, что стала рассматриваться как основа физики XX в.

Статью «Признавал ли Кун революции в математике» В. А. Шапошников начинает словами: «Вышедшая в начале 1960-х гг. книга Томаса Куна «Структура научных революций» вызвала в своё время огромный резонанс в философии науки, да и за её пределами; отголоски её влияния можно обнаружить вплоть до самых современных исследований... В соответствующей литературе почти всегда обходится молчанием вопрос об отношении самого Куна к революциям в математике: он прекрасно знал о происходящем споре, но предпочитал прямо не высказываться по данному вопросу» [319]. Имеется в виду спор о том, приводит ли научная революция к некумулятивному скачку в развитии науки или же при ней наблюдается сохранение основного массива накопленных знаний. Любопытно, что в ходе обсуждения появляется понятие «математики содержательной или неформальной, которая есть органическая часть естествознания». Укоренившаяся ошибка состоит в отнесении математики к естественным наукам. Она зафиксирована, например, в перечне научных специальностей Высшей аттестационной комиссии (ВАК) РФ. На самом же деле математика успешно применяется практически во всех областях науки и практики, например, в экономике и управлении. Экономику никак нельзя отнести к естественным наукам. В перечне научных специальностей ВАК имеется специальность 5.2.2 «Математические, статистические и инструментальные методы в экономике», а это, очевидно, противоречит позиции ВАК о том, что математика — естественная наука. Не менее странно, что используется словосочетание «физико-математические науки». Хотя физика, очевидно, одна из естественных наук, но математик (кандидат или доктор физико-математических наук) может работать в области экономики и не иметь никакого отношения к естественным наукам. «Методологический барьер, полагающий принципиальную разноприродность математики и естествознания», обсуждается также в работе [322].

Современный этап в развитии математики в ряде случаев связан с применением компьютеров для доказательства теорем и получения практических рекомендаций. Проблемы этого этапа мы достаточно подробно обсуждали в данной монографии. В статье [315] автор рассматривает «компьютерную революцию как революцию в математике». В следующей работе [316] он разбирает проблемы современной практики математического доказательства, её трансформацию от ин-

дивидуальной к социоцифровой. Кризис переусложнённости математических теорий анализируется и в работе [76]. Он связан с тем, что «с развитием современной математики приходится наблюдать появление всё более сложных и объёмных доказательств, теряющих своё неоспоримое методологическое преимущество — обозримость, и, следовательно, убедительность». В качестве примера можно привести доказательство «великой теоремы Ферма», столь объёмное, что специалистам затруднительно его изучить и проверить.

Выделение первых четырёх стадий развития математики (и трёх революций при переходе к каждой следующей стадии) проводится многими специалистами. Не всегда такой переход связан с кризисом оснований математики. Как доказывает В. А. Шапошников, о подобном кризисе можно обоснованно говорить лишь при переходе от третьей стадии к четвёртой [320, 321].

Философы математики продолжают обсуждать классические концепции обоснования современной математики. Так, в [75] дана философская интерпретация объектов математики в формализме, интуиционизме и платонизме. В статье [73] рассмотрены три ведущие программы обоснования математики — логицизм, формализм и конструктивизм (тесно связанный с интуиционизмом) и обоснован переход на позицию фаллибилизма, который следует рассматривать как реалистичный взгляд на математическое знание и математическую деятельность. Сравнительный анализ интуиционизма и формализма проведён в [307]. Необходимость системной целостности концепции обоснования современной математики на основе критического обсуждения программ формализма и интуиционизма обоснована в статье [77]. В связи со сказанным необходимо указать на классические работы А. Н. Колмогорова «О принципе *tertium non datur*» (1925) и «К толкованию интуиционистской логики» (1932), включённые в его «Избранные труды. Математика и механика» [37], а также на обширный комментарий к этим работам В. А. Успенского и В. Е. Плиско [37, с. 394–404]. Из современных публикаций на эту тему отметим работу А. В. Родина «Исчисление задач А. Н. Колмогорова и гомотопическая теория типов» [279].

Мы кратко рассмотрели некоторые работы по философии математики. Очевидно, в них содержится ряд полезных для обсуждения развития математики научных результатов. Будем надеяться, что данная монография даст философам пищу для размышления в связи с развитием математики XXI в., с четвёртой научной революцией в ней на основе новой парадигмы.

6.7. Контроллинг математических методов исследования

Как показано выше, прикладная статистика — важнейшая составляющая математических методов исследования. В соответствии с идеями современной научной революции на основе новой парадигмы в этой области, в прикладной статистике необходимы правила проверки адекватности используемых расчётных методов реальной ситуации. Разработкой таких правил занимается контроллинг статистических методов [247].

В настоящем разделе кратко перечислим его базовые идеи. Контроллинг статистических методов устанавливает основные требования к методам статистической обработки данных, перечень их характеристик, которые должны быть отражены в нормативно-технической, методической и справочной документации (далее — НТД), а также требования к оформлению результатов обработки данных.

Как известно, в прикладной статистике используют два вида методов — вероятностно-статистические методы и методы анализа данных. Вероятностно-статистические методы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- наличие адекватной вероятностной модели явления;
- использование результатов математической статистики;
- адекватность относительно допустимых преобразований шкал измерения;
- возможность установления точности получаемых результатов и выводов.

Если метод обработки данных не удовлетворяет хотя бы одному из перечисленных требований, он называется методом анализа данных.

При разработке НТД по статистическим методам обработки данных необходимо установить и указать следующие характеристики используемых методов:

- степень выполнения перечисленных выше основных требований;
- устойчивость выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок модели;
- возможность последовательного применения методов статистической обработки данных;
- оптимальность (в указанном в НТД смысле);
- трудоёмкость;
- наглядность.

Контроллинг статистических методов устанавливает требования:

- к построению и обоснованию адекватной вероятностной модели явления;
- к результатам математической статистики;
- к адекватности относительно допустимых преобразований шкал измерения;
- к нормативно-технической и справочной документации по методам обработки данных с помощью компьютеров;
- к оформлению результатов обработки данных.

Выработаны следующие виды характеристик математических методов исследования:

- точности и устойчивости выводов;
- последовательного применения методов обработки данных;
- оптимальности методов обработки данных;
- трудоёмкости и наглядности и требования к ним.

Рекомендации контроллинга статистических методов предназначены для сотрудников организаций и предприятий (объединений) всех отраслей народного хозяйства, разрабатывающих математические методы исследования и соответствующую нормативно-статистическую документацию, связанную со статистической обработкой данных, в том числе с использованием компьютеров. Этим рекомендациям необходимо следовать и при подготовке учебно-методических материалов.

Поясним сказанное. В прикладной статистике необходимы правила проверки адекватности используемых расчётных методов реальной ситуации. Разработкой таких правил занимается контроллинг статистических методов, его результаты применимы при анализе статистических данных в любой области. Одно из правил — анализ данных должен начинаться с выбора (построения) и обоснования вероятностной модели порождения данных. Так, распространённая ошибка состоит в необоснованном принятии модели нормального распределения элементов выборки. Хорошо известно, что распределения реальных данных, как правило, не являются нормальными (гауссовскими). Поэтому необходимо тщательное обоснование возможности использования критериев Стьюдента и Фишера. Основные идеи контроллинга статистических методов опубликованы в наших работах [233, 234, 239, 335].

Истоки этого направления наших исследований относятся к 1980-х гг. Ряд базовых идей контроллинга статистических методов

содержится в нормативно-техническом документе «Рекомендации. Прикладная статистика. Методы обработки данных. Основные требования и характеристики» [278]. Эта работа выполнена в русле научно-общественного движения, приведшего к созданию Всесоюзного центра статистических методов и информатики Центрального управления Всесоюзного экономического общества (1989) и Всесоюзной статистической ассоциации (1990). Хотя перечисленные организации погибли в результате развала СССР, но научные результаты вошли в учебники XXI в. (см. сводку [246]).

Согласно контроллингу статистических методов, непараметрическая статистика предпочтительнее параметрической. Потому были разработаны и изучены различные непараметрические оценки плотности распределения вероятностей в пространствах общей природы. Необходимо учитывать размытость математических объектов, применять статистику интервальных данных, статистику нечисловых данных, теорию нечёткости. Статистические методы должны соответствовать шкалам измерения. Требуется обсуждения использование компьютеров при анализе статистических данных и т. д. Примером конкретизации требований контроллинга статистических методов в конкретных ситуациях служит статья [221], в которой анализ идёт на примере задач классификации.

Математическая статистика основана на теории вероятностей, основные понятия которой используем в соответствии с монографией [41], справочниками [143, 276] и энциклопедией [9]. В этих книгах рассмотрены понятия случайной величины со значениями в пространстве произвольной природы, её распределения, независимости случайных величин и т. д. Подчеркнём, что значениями случайных величин могут быть не только действительные числа, но и векторы, функции, множества и различные виды объектов нечисловой природы.

Контроллинг организационно-экономических методов мы рассматриваем как новое научное направление в менеджменте [251]. Обсудим используемые в этом предложении термины. Мы рассматриваем организационно-экономические и экономико-математические методы как составляющие математических методов исследования. Контроллинг организационно-экономических методов — разработка процедур управления соответствием поставленным задачам используемых и вновь создаваемых (внедряемых) организационно-экономических методов.

По различным вопросам менеджмента написано много. Наше мнение подробно изложено в учебниках [141, 240]. Информация о конкретных исследованиях приведена в сводке [246].

Согласно [141, 240] контроллинг — это менеджмент на современном этапе. К сожалению, это не всем ещё ясно. Достаточно часто обсуждают те или иные вопросы контроллинга, не употребляя самого слова «контроллинг». Известный г-н Журден (см. произведение Мольера «Мещанин во дворянстве») не знал, что говорит прозой. Многие современные авторы не знают, что рассматривают проблемы контроллинга. Подробнее об этом — в нашей статье «Контроллинг явный и контроллинг скрытый» [213].

Менеджмент — научная дисциплина, посвящённая осмыслению практики реального управления людьми, подразделениями, организациями, регионами, государствами. Основное, чем занимается менеджер (синонимы — руководитель, управленец) — это разработка, принятие и реализация управленческих решений. Управленческие решения принимаются на основе пяти групп факторов (СТЭП-факторов, STEEP-факторов) — социальных; технологических; экономических; экологических; политических [141, 240]. Поэтому экономикой надо считать частью менеджмента. Это очевидно для каждого, кто занимался реальным управлением людьми. Однако не очевидно для администраторов от науки, действующих в Высшей аттестационной комиссии (ВАК) РФ, которые рассматривают менеджмент всего лишь как одну из экономических наук. Не менее нелепо мнение ВАК о том, что математика — естественная наука. Это мнение противоречит другому решению ВАК, согласно которому существует научная специальность «Математические, статистические и инструментальные методы экономики». Очевидно, что экономику нельзя считать естественной наукой...

По нашему мнению, за 17 лет сформировалось новое научное направление — контроллинг организационно-экономических методов (первая работа по этой тематике опубликована нами в 2008 г. [138]). Это направление — внутри контроллинга. Однако с точки зрения «экономики внимания» вместо термина «контроллинг» лучше использовать его более распространённый синоним — термин «менеджмент». Тем более что формулировка «контроллинг организационно-экономических методов — новое научное направление в контроллинге» неудачна тем, что два раза используется один и тот же термин «контроллинг». Кратко обсудим основные идеи этого нового научного направления.

В настоящее время контроллинг — это развитая область научных и практических работ со сложной внутренней структурой. На неё авторы публикаций могут смотреть с разных сторон, соответственно, давать много различных определений понятию «контрол-

линг». Будем исходить из наиболее близкого нам определения С. Г. Фалько [300], согласно которому контроллинг — это «ориентированная на перспективу и основанная на измерении фактов система информационно-аналитической и методической поддержки менеджмента в процессе планирования, контроля, анализа и принятия управленческих решений, обеспечивающая координацию и интеграцию подразделений и сотрудников по достижению поставленных целей». Обратите внимание, что здесь нет ни слова об управленческом учёте или об экономике вообще. Кратко говоря, контроллинг — научная и практическая область, посвящённая современным технологиям управления людьми (сотрудниками, подразделениями, предприятиями, регионами). Основные научные результаты этой области представлены в ряде монографий и учебников [28, 44–46, 301, 305]. Большое внимание уделяется проблемам контроллинга на промышленном предприятии [47, 48, 270, 302].

Как уже отмечалось, в 2005 г. введена новая учебная специальность 220701 «Менеджмент высоких технологий». Она относилась к введённому тогда же направлению подготовки дипломированных специалистов 220700 «Организация и управление наукоёмкими производствами». Для новой специальности понадобились новые учебники. Очевидно, они должны были исходить из последних научно-технических разработок, подкреплённых практическим опытом. Специальность «Менеджмент высоких технологий» нацелена на подготовку инженеров-менеджеров для управления производственно-технологическими процессами на крупных наукоёмких предприятиях, а также на предприятиях малого и среднего бизнеса. В план подготовки по этой специальности была включена дисциплина «Организационно-экономическое моделирование». Разработка содержания этой дисциплины была поручена автору данной монографии. Был подготовлен наш трёхтомный учебник «Организационно-экономическое моделирование», изданный в МГТУ им. Н. Э. Баумана в 2009–2012 гг. [139, 147, 155]. Мы исходили из следующего определения:

«Организационно-экономическое моделирование — научная, практическая и учебная дисциплина, посвящённая разработке, изучению и применению математических и статистических методов и моделей в экономике и управлении её субъектами, прежде всего промышленными предприятиями и их объединениями».

Легко видеть, что практически то же содержание вкладывается в часто используемые термины «экономико-математические методы и модели» и «математические и статистические методы экономики». Почему мы выбрали термин «организационно-экономическое моде-

лирование»? Во-первых, потому, что считаем экономику частью менеджмента, составляющая нашего термина «организационно» как раз и соответствует менеджменту. Во-вторых, следовало уйти от составляющей «математические», т. е. от математики как научной области, посвящённой доказательству теорем и тем самым далёкой от решения практических задач. Тем не менее все три варианта названия данной дисциплины рассматриваем как синонимы.

Соответственно, организационно-экономические методы — это методы, основанные на организационно-экономических моделях.

Существенные области организационно-экономического моделирования — теория принятия решений, прикладная статистика и другие статистические методы, эконометрика, теория и практика экспертных оценок. Организационно-экономическое моделирование и её только что перечисленные области преподаются на факультете «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана и в других вузах.

Как уже было сказано, под контроллингом организационно-экономических методов (математических методов исследования) понимаем разработку процедур управления соответствием поставленным задачам используемых и вновь создаваемых (внедряемых) организационно-экономических методов. При такой постановке мы далеко уходим от первоначальной концепции контроллинга, связанной, прежде всего, с финансовыми аспектами деятельности организаций (предприятий), управленческим учётом, вообще от проблем управления хозяйственной единицей, выходим за пределы традиционных экономических наук.

Оправданием целесообразности такого расширения тематики контроллинга является то, что во многих областях научной и прикладной деятельности возникает необходимость управления соответствием поставленным задачам используемых научных методов. Например, в прикладной статистике необходимы правила проверки адекватности используемых расчётных методов реальной ситуации. Разработкой таких правил занимается контроллинг статистических методов (как часть контроллинга организационно-экономических методов), его результаты следует применять при анализе статистических данных в любой области.

Повторим здесь не раз приведённый ранее пример. Одно из правил — анализ данных должен начинаться с выбора (построения) и обоснования вероятностной модели порождения данных. Так, распространённая ошибка состоит в необоснованном принятии модели нормального распределения элементов выборки. Хорошо известно,

что распределения реальных данных, как правило, не являются нормальными (гауссовскими). Поэтому необходимо тщательное обоснование возможности использования критериев Стюдента и Фишера, основанных на гипотезе нормальности.

Представляется естественным, чтобы методы управления соответствием используемых методов поставленным задачам (в прикладной статистике — правила проверки адекватности используемых расчётных методов реальной ситуации) были зафиксированы в нормативно-технической документации (например, в ГОСТах). Однако практика показывает опасность подготовки подобной документации неквалифицированными лицами. С подобной ситуацией мы сталкивались при анализе государственных и международных стандартов по статистическим методам управления качеством в 1980-х гг. Как было установлено созданной нами Рабочей группой из 66 специалистов (15 докторов и 36 кандидатов наук), несколько десятков из них содержали грубые ошибки и в итоге были отменены.

Бесспорно, что опираться надо на научные результаты, а не на ошибочные материалы, пусть даже они называются ГОСТами (тем более что в современных условиях любые ГОСТы не являются обязательными). Сомнительные ГОСТы и аналогичные материалы должны быть проанализированы и при обнаружении ошибок отменены. К сожалению, анализ подобных текстов требует затрат большого объёма времени квалифицированных специалистов. Из-за отсутствия соответствующей организационной структуры и необходимых ресурсов такой анализ в отношении ряда нормативно-технических документов до сих пор не проведён. Как следствие, подобные материалы, к сожалению, действуют в ряде конкретных областей научной и практической деятельности.

Действующая система разработки государственных и международных стандартов и другой нормативно-технической документации не предусматривает опору на современные научные достижения. Неквалифицированные разработчики могут их игнорировать. С другой стороны, потенциальные эксперты, например, в институтах Российской академии наук, не стремятся к участию в подготовке стандартов и других нормативно-технических документов, поскольку заняты своими собственными исследованиями.

Как быть? По нашему мнению, надо исходить из основополагающего принципа МГТУ им. Н. Э. Баумана: «Образование через науку». Только то, что вошло в учебные программы, передаётся следующим поколениям специалистов. Необходимы изменения в преподавании учебных курсов, посвящённых математическим методам ис-

следования, экономико-математическим моделям и методам, организационно-экономическому моделированию. Цель изменений — обеспечение соответствия учебных курсов современным требованиям. Ряд нужных для этого учебников выпущен нами в 2002–2024 гг. [246].

Как следует из данных сводки [246], нами выпущена 71 публикация, в названиях которых есть термин «контроллинг». Они делятся на две части — 41 публикация посвящена использованию организационно-экономических методов для решения задач контроллинга (см., например, [256, 257]), а 30, наоборот, применению идей контроллинга для анализа организационно-экономических методов.

По нашему мнению, контроллинг организационно-экономических методов состоялся как новое научное направление в менеджменте. Получен ряд научных результатов, имеющих научную и практическую значимость.

Глава 7

ВЫСОКИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ — ИЗ НАУКИ В ПРЕПОДАВАНИЕ

Внедрение новых математических методов исследования, опирающихся на новую парадигму и научную революцию в этой области, рассмотрим на примере внедрения высоких статистических технологий. К ним относим и близкие области, в частности, теорию принятия решений. Данная глава посвящена следствиям и рекомендациям для тех, кто применяет или преподаёт математические методы исследования, вытекающим из материалов предыдущих глав.

Высокие статистические технологии — наиболее наукоёмкая инновационная часть современных методов анализа данных. За последние 50 лет научные исследования и прикладные проекты в этой области привели к разработке ряда новых разделов теории и существенному развитию ранее сформированных областей статистических методов. Так, создана статистика нечисловых данных и статистика интервальных данных. Существенное развитие получила непараметрическая статистика.

Однако преподавание статистических методов в вузах зачастую заметно отстаёт от фронта научных исследований. Входящий в курс математики раздел «Теория вероятностей и математическая статистика» обычно заканчивается методами, разработанными в первой половине XX в. Специальные курсы часто используют подходы столь же далёких времён. Поэтому при создании Всесоюзной статистической ассоциации (Учредительный съезд состоялся в октябре 1990 г.), а затем Российской ассоциации статистических методов и Российской академии статистических методов одной из наиболее актуальных задач было признано внедрение современных научных достижений в практику преподавания.

Эконометрика, т. е. статистический анализ конкретных статистических данных в области экономики и управления, преподаётся в российских вузах как самостоятельная учебная дисциплина с 1997 г. На факультете «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н. Э. Баумана высокие статистические технологии внедрены в практику преподавания ряда курсов. А именно, курсов «Эконометрика», «Прикладная статистика», «Разработка и принятие управленческих решений», «Организационно-экономическое моделирование» и других. Названия дисциплин варьируют. Так, в качестве примеров

можно указать курсы «Статистика», «Теория принятия решений», «Методы принятия управленческих решений», «Контроллинг рисков». Внедрение новых знаний в учебный процесс опирается на вновь разработанные учебные программы и учебники. Тем самым в рассматриваемых областях удаётся в некоторой мере преодолеть разрыв между наукой и преподаванием.

Высокие статистические технологии, прежде всего ориентированные на экспертные и маркетинговые исследования, весьма эффективны, в частности, в инновационном менеджменте при осуществлении организационно-экономической и маркетинговой поддержки конкретных инновационных проектов в области наукоёмких технологий, а также при прогнозировании спроса на научно-техническую продукцию высокотехнологичных отраслей промышленности. Исходим из фундаментального принципа МГТУ им. Н. Э. Баумана «образование через науку» [131, 241], который даёт основания для использования в преподавании новых научных разработок.

7.1. О развитии статистических исследований и преподавания статистики

Статистические исследования (с целью информационно-аналитической поддержки процесса принятия управленческих решений) проводятся с давних времён. Например, для принятия решений в военной области необходима информация о числе военнообязанных. О переписи военнообязанных рассказано в Ветхом Завете в Четвёртой книге Моисеевой «Числа» (см. главу 1 выше). Поэтому вполне естественно, что в программы высшего образования включают статистические дисциплины.

Если в высшей школе США число преподавателей и кафедр в области статистики вполне сопоставимо с числом преподавателей и кафедр в области математики, то в нашей стране — совсем другая ситуация. Официально были признаны лишь две составляющие статистики: математическая статистика и ведомственная наука Росстата. Первая составляющая относится к математике, к научной специальности 1.1.4 «Теория вероятностей и математическая статистика» в номенклатуре ВАК. Вторая составляющая относится к экономическим наукам. До последней реформы ВАК в 2021 г. существовала научная специальность 08.00.12 «Бухгалтерский учёт, статистика». В настоящее время в номенклатуре ВАК есть научная специальность 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», относящаяся к техническим наукам, а также специ-

альность 5.2.2 «Математические, статистические и инструментальные методы в экономике». Впрочем, в 2025 г. во многих вузах России бакалавров готовят и по специальности «Статистика» (01.03.05) (эта специальность относится к укрупнённому направлению подготовки «Математика и механика»).

До реформы ВАК в 2021 г. все остальные составляющие статистики (кроме математической статистики и ведомственной науки Росстата) не фигурировали в нормативных документах. Например, игнорировались статистические методы в технике, медицине, химии, истории, социологии, психологии и т. п. Впрочем, некоторые из этих «забытых» составляющих укрепились и получили собственные имена. Например, эконометрика — статистические методы в экономике и управлении (менеджменте), биометрика — статистические методы в биологии. В нашей стране создана отечественная научная школа в области эконометрики [200, 2019], действующая в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования.

Очевидно, деятели научной специальности 1.1.4 «Теория вероятностей и математическая статистика» ориентированы на доказательство теорем, а не на изучение проблем анализа реальных статистических данных. Они уходят от реального мира внутрь математики, их научные результаты зачастую бесполезны для практики.

Деятели ведомственной науки Росстата исходят из экономической методологии, имеют экономическое образование, под статистикой понимают деятельность Росстата. Не зная математики, составляют учебники, например, по общей теории статистики, содержащие математико-статистические ошибки. Много конкретных ошибок приведено на интернет-ресурсе «Профессора-невежды готовят себе на смену новых невежд» [277]. Причины появления ошибок проанализированы на интернет-ресурсе «Типовые ошибки при вхождении в прикладную статистику» [294]. На результаты деятельности Росстата, к сожалению, нельзя ориентироваться. Ложь официальной статистики постоянно разоблачается в различных публикациях, в частности, приведённых на интернет-ресурсе «Статистические методы» [292]. К сожалению, приходится иногда применять данные Росстата, поскольку других обобщающих данных нет.

В начале 1980-х гг. мы выделили научную дисциплину «Прикладная статистика» [105, 290]. Наш базовый учебник по этой дисциплине начинается словами: «Прикладная статистика — это наука о том, как обрабатывать данные» [133]. Методы прикладной статистики могут применяться в любой области науки, в любой отрасли научного хозяйства.

В 1980-х гг. была создана попытка объединить статистиков различных научных направлений и ведомственной принадлежности. Как мы уже не раз констатировали, в 1990 г. был проведён Учредительный съезд Всесоюзной статистической ассоциации. Ассоциация состояла из четырёх секций — специалистов по статистическим методам, специалистов по прикладным статистическим исследованиям (в неё входили, в основном, работники оборонных отраслей промышленности), преподавателей статистики в экономических вузах, работников официальной статистики. Автор данной монографии был избран вице-президентом (по секции статистических методов).

При подготовке к созданию Всесоюзной статистической ассоциации был проведён анализ ситуации в области преподавания статистики. В частности, было установлено [109], что в учебниках по «Общей теории статистики» обычно излагаются (с теми или иными математическими ошибками) основы прикладной статистики, к которым добавляется небольшая по содержанию и объёму информация о деятельности органов официальной статистики.

Наши работы исторического порядка, посвящённые развитию статистических методов в нашей стране, суммированы в главе 2 (с. 13–61) монографии [257] и в части 1 (с. 7–86) монографии [59], а затем — в главах 1–3 данной книги. Отметим, что подготовка адекватной истории отечественной статистики — дело будущего. Имеющиеся сочинения — удручающе односторонние. Так, в «учебном пособии» [273] даже не упомянут великий статистик XX в. член-корреспондент АН СССР Николай Васильевич Смирнов, как и многие другие замечательные исследователи.

Но и из имеющейся информации было ясно, что перестройка статистики назрела. Одним из наших предложений [115, 118] было создание Всесоюзной статистической ассоциации. Другим — организация Всесоюзного центра статистических методов и информатики, миссия которого — разработка и внедрение программных продуктов по статистическим методам. К настоящему времени этот центр преобразован в Институт высоких статистических технологий и эконометрики. Информация о его деятельности за 1989–2025 гг. приведена в [25].

Всесоюзная статистическая ассоциация — аналог Королевского статистического общества (создано в 1834 г.) и Американской статистической ассоциации (организована в 1839 г.). Однако вследствие развала СССР Всесоюзная статистическая ассоциация прекратила работу, как и другие союзные организации. Она проработала всего лишь год и три месяца. С юридической точки зрения это незаконно,

поскольку в её уставе была норма — ликвидация ассоциации возможна лишь по решению съезда. Такого съезда не было. Был лишь один съезд — Учредительный (1990). Поэтому юридически Всесоюзная статистическая ассоциация существует. На постсоветском пространстве наиболее активным является сообщество узбекских статистиков. В частности, ими регулярно проводятся многочисленные международные конференции «Статистика и её применения».

7.2. Преподавание в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования

За 1990-е гг. число участников статистических научных конференций и семинаров сократилось на порядок, поэтому мы сочли необходимым перейти к составлению учебников и монографий на основе новой парадигмы математических методов исследования.

В ходе организации Всесоюзной статистической ассоциации было проанализировано состояние и перспективы развития рассматриваемой области научно-прикладных исследований и осознаны основы уже сложившейся к концу 1980-х гг. новой парадигмы математических методов исследования. В течение следующих лет новая парадигма развивалась и к настоящему времени оформлена в виде серии монографий и учебников для вузов, состоящей более чем из 20 книг. Мы уже проводили сравнение старой и новой парадигм математических методов исследования. Для удобства читателя напомним здесь основные результаты этого сравнения (см. также главу 5 данной монографии).

Типовые исходные данные в новой парадигме — объекты нечисловой природы (элементы нелинейных пространств, которые нельзя складывать и умножать на число, например, множества, бинарные отношения), а в старой — числа, конечномерные векторы, функции. Ранее (в старой парадигме) для расчётов использовались разнообразные суммы, однако объекты нечисловой природы нельзя складывать, поэтому в новой парадигме применяется другой математический аппарат, основанный на расстояниях между объектами нечисловой природы и решении задач оптимизации.

Изменились постановки задач анализа данных и экономикоматематического моделирования. Старая парадигма математической статистики исходит из идей начала XX в., когда К. Пирсон предложил четырёхпараметрическое семейство распределений для описания распределений реальных данных. В это семейство как частные случаи

входят, в частности, подсемейства нормальных распределений, экспоненциальных, Вейбулла — Гнеденко, гамма-распределений. Сразу было ясно, что распределения реальных данных, как правило, не входят в семейство распределений Пирсона (об этом говорил, например, академик С. Н. Бернштейн уже в 1927 г. в докладе на Всероссийском съезде математиков [3]; см. также [199]). Однако математическая теория параметрических семейств распределений (методы оценивания параметров и проверки гипотез) оказалась достаточно интересной с теоретической точки зрения (в её рамках был доказан ряд трудных теорем), и именно на ней до сих пор основано преподавание во многих вузах. Итак, в старой парадигме основной подход к описанию данных — распределения из параметрических семейств, а оцениваемые величины — их параметры. В то время как в новой парадигме рассматривают произвольные распределения, а оценивают — характеристики и плотности распределений, зависимости, правила диагностики и др. Центральная часть теории — уже не статистика числовых случайных величин, а статистика в пространствах произвольной природы, т. е. нечисловая статистика (статистика нечисловых данных) [218, 219, 226].

В старой парадигме источники постановок новых задач — традиции, сформировавшиеся к середине XX в. А работы в рамках новой парадигмы исходят из современных (XXI в.) потребностей математического моделирования и анализа данных. Другими словами, из запросов практики. Конкретизируем это общее различие. В старой парадигме типовые результаты — предельные теоремы, в новой — рекомендации для конкретных значений параметров, в частности, объёмов выборок. Изменилась роль информационных технологий — ранее они использовались в основном для расчёта таблиц (в частности, информатика находилась вне математической статистики), теперь же они — инструменты получения выводов (имитационное моделирование, датчики псевдослучайных чисел, методы размножения выборок, в том числе бутстреп и др.). Вид постановок задач приблизился к потребностям практики — при анализе данных от отдельных задач оценивания и проверки гипотез перешли к статистическим технологиям (технологическим процессам анализа данных). Выявилась важность проблемы «стыковки алгоритмов» — влияния выполнения предыдущих алгоритмов в технологической цепочке на условия применимости последующих алгоритмов. В старой парадигме эта проблема не рассматривалась, для новой — весьма важна.

Если в старой парадигме вопросы методологии моделирования практически не обсуждались, достаточными признавались схемы

начала XX в., то в новой парадигме роль методологии (учения об организации деятельности [97]) является основополагающей. Резко повысилась роль моделирования — от отдельных систем аксиом произошёл переход к системам моделей. Сама возможность применения вероятностного подхода теперь — не «наличие повторяющегося комплекса условий» (реликт физического определения вероятности (по Мизесу), использовавшегося до аксиоматизации теории вероятностей А. Н. Колмогоровым в 1930-х гг.), а наличие обоснованной вероятностно-статистической модели. Если раньше данные считались полностью известными, то для новой парадигмы характерен учёт свойств данных, в частности, интервальных и нечётких [254]. Изменилось отношение к вопросам устойчивости выводов — в старой парадигме практически отсутствовал интерес к этой тематике, в новой разработана развитая теория устойчивости (робастности) выводов по отношению к допустимым отклонениям исходных данных и предпосылок моделей [176, 230].

Как уже отмечалось, на рубеже тысячелетий нами было принято решение сосредоточить усилия на подготовке учебной литературы, соответствующей новой парадигме. Ранее (в разделе 5.7) мы рассматривали эти издания как научные публикации, в которых раскрывается новая парадигма математических методов исследования. Здесь же обсудим их использование в преподавании. Существенно, что каждую из этих книг можно рассматривать и как научную монографию, и как учебник. Таким путём в нашей научно-учебной области реализуется фундаментальный принцип МГТУ им. Н. Э. Баумана «образование через науку» [131, 241].

Рассмотрим здесь основные монографии-учебники. Более подробная информация приведена выше в главе 5 и в сводке [246].

Первым был выпущенный в 2002 г. учебник по эконометрике, переизданный в 2003 г. и в 2004 г. [129]. Четвёртое издание «Эконометрики» [140] существенно переработано. Оно соответствует первому семестру курса, в отличие от первых трёх изданий, содержащих материалы для годового курса. В четвёртое издание включены новые разделы, полностью обновлены главы про проверку однородности выборок и про индекс инфляции, добавлено методическое обеспечение. Работа над учебниками по курсу «Эконометрика» продолжалась и позже. Книга [1], уже вышедшая тремя изданиями, полностью соответствует односеместровому курсу, читаемому в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

В нашем фундаментальном курсе 2006 г. по прикладной статистике [133] в рамках новой парадигмы рассмотрены как нечисловая

статистика, в том числе статистика интервальных данных, так и классические разделы прикладной статистики, посвящённые методам обработки элементов линейных пространств — чисел, векторов и функций (временных рядов).

В том же 2006 г. в рамках новой парадигмы был выпущен возвращённый курс теории принятия решений [134]. Его сокращённый (в 1,5 раза) вариант вышел годом раньше [130]. Монографии-учебники «Эконометрика», «Прикладная статистика», «Теория принятия решений» — наиболее цитируемые в научных изданиях книги автора данной монографии. В «Академии Google» зарегистрировано 1251, 1513 и 1636 цитирований (на 21 октября 2025 г.) В РИНЦ отдельно приводятся данные по ссылкам на отдельные издания. В частности, примерно одинаково количество ссылок двух видов. Во-первых, на книги, размещённые на сайте «Высокие статистические технологии» (т. е. фактически на рукописи). Во-вторых, на выпущенные издательствами «на бумаге». Этот факт ярко демонстрирует значение интернета для распространения новых идей.

Как уже отмечалось, в соответствии с потребностями практики в России в 2005 г. была введена новая учебная специальность 220701 «Менеджмент высоких технологий», относящаяся к тогда же созданному направлению подготовки 220700 «Организация и управление наукоёмкими производствами», предназначенному для обеспечения инженерами-менеджерами высокотехнологичных предприятий. Большинство студентов-магистрантов Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н. Э. Баумана обучаются по этой специальности. Общий взгляд на неё представлен в учебнике [42]. Отметим, что для бакалавров аналогичная специальность называется «Инноватика».

Государственным образовательным стандартом по специальности «Менеджмент высоких технологий» предусмотрено изучение дисциплины «Организационно-экономическое моделирование». Автору данной монографии была поручена разработка содержания этой учебной дисциплины. Одноименный учебник выпущен в трёх частях (томах). Первая из них [139] посвящена сердцевине новой парадигмы — нечисловой статистике. Её прикладное «зеркало» — вторая часть [147], современный учебник по экспертным оценкам. В третьей части [155] наряду с основными постановками и конкретными статистическими методами анализа данных классических видов (чисел, векторов, временных рядов) рассмотрены вероятностно-статистические модели в технических и экономических исследованиях, медицине, социологии, истории, демографии, а также метод когнитивных

карт (статистические модели динамики). Эти три тома включают много больше материала, чем удаётся рассмотреть в рамках учебного процесса. Они носят энциклопедический характер, являются монографиями-учебниками, на основе которых можно формировать программы различных учебных дисциплин. В 2022 г. трёхтомник был переиздан с серийным названием «Искусственный интеллект» [226–228].

В названиях ещё двух наших учебников есть термин «организационно-экономическое моделирование». Это вводная книга по менеджменту [141] и современный учебник по теории принятия решений [148], в которых содержание соответствует новой парадигме, в частности, подходам трёхтомника по организационно-экономическому моделированию. В нём значительно большее внимание по сравнению с более ранними нашими книгами по теории принятия решений уделено теории и практике экспертных оценок, в то время как общие проблемы менеджмента выделены для обсуждения в отдельное издание, указанное выше.

К рассмотренному выше корпусу учебников примыкают ещё несколько изданий. Справочник по минимально необходимым для восприятия рассматриваемых учебных курсов и монографий понятиям теории вероятностей и прикладной математической статистики [143] первоначально разрабатывался для инженеров, которым необходимо осознанно пользоваться стандартами по статистическим методам управления качеством продукции. Надо отметить и книги по промышленной и экологической безопасности [232, 264], в которых большое место занимает изложение научных результатов в соответствии с новой парадигмой, в частности, активно используются современные статистические и экспертные методы, математическое моделирование.

Опубликовано ещё несколько малодоступных монографических изданий (например, в издательстве Palmarium Academic Publishing в г. Saarbrücken; эти книги переизданы в 2022 г. [230, 232]) или изданий меньшего объёма, например, учебное пособие [136] по оптимальным методам в экономике и управлении.

Подробная информация о выпущенных изданиях приведена в сводке [246].

Публикация учебной литературы на основе новой парадигмы шла непросто. Зачастую издать определённую книгу удавалось с третьего-четвёртого раза. В процессе выпуска наших книг была неоценима поддержка Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» и МГТУ им. Н. Э. Баумана в целом, а также Учебно-

методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию.

Принципиально важно, что все перечисленные монографии, учебники, учебные пособия имеются в интернете в свободном доступе, для обеспечения которого были предприняты значительные усилия. Как уже отмечалось, на странице <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=3059> приведён полный список научных и методических работ А. И. Орлова (во втором посте этой темы приведены электронные адреса работ). Актуальный каталог трудов с возможностью гарантированной загрузки имеется на ресурсе <https://orlovs.pp.ru/work/index.php>. Многие статьи и книги представлены на сайте «Высокие статистические технологии» (<https://orlovs.pp.ru/>) и его форуме (<https://orlovs.pp.ru/forum/>). Они включены в библиотеки кафедры «Экономика и организация производства» (<https://ibm2.ru/library/>) и Научно-исследовательской лаборатории «Экономико-математические методы в контроллинге» (<https://ibm.bmstu.ru/nil/biblio.html>). Часть материалов перепечатана в еженедельнике «Эконометрика» — электронной газете кафедры «Экономика и организация производства» Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н. Э. Баумана (<https://subscribe.ru/catalog/science.humanity.econometrika>). В Российском индексе научного цитирования представлены 743 публикации автора данной монографии (на 21.10.2025). Обратим внимание на то, что иногда различны названия и выходные данные книг в бумажном и электронном вариантах. Это позволяет проследить пути распространения сведений об изданиях.

Информация о новой парадигме математических методов исследования появилась в печати недавно — в 2011–2013 гг. (см. обзор в главе 5). К тому времени публикация основной серии книг с изложением научных подходов и результатов на основе новой парадигмы была уже практически закончена. Мы не без оснований опасались, что нам могут помешать довести работу до конца (пример активного противодействия распространению новых идей рассмотрен в разделе 5.7). В своей тактике публикаций мы во многом следовали Гауссу, который воздерживался от публикации работ по неевклидовой геометрии, опасаясь «криков беотийцев» [36]. (В Древней Греции беотийцы слыли туповатыми, необразованными людьми, а выражение «крик беотийца» применялось тогда, когда надо было отозваться о словах невежественного человека).

Проблемы преподавания в соответствии с новой парадигмой математических методов исследования достаточно широко обсуждались. Так, статистическое образование в соответствии с новой пара-

дигмой рассмотрено в статьях [210–212]. Разработке курса «Эконометрика» в соответствии с основными идеями отечественной научной школы в области эконометрики посвящены статьи [55, 208]. Содержание учебной дисциплины «Организационно-экономическое моделирование» раскрыто и обосновано в статьях [82, 83]. Курс «Контроллинг рисков» рассмотрен в публикациях [99, 220, 223]. Более подробная информация, как уже говорилось, содержится в сводке [246].

На основе сказанного выше можно с чувством выполненного долга констатировать, что к настоящему моменту рекомендация Учредительного съезда Всесоюзной статистической ассоциации (1990) по созданию комплекта учебной литературы на основе новой парадигмы математических методов исследования выполнена. Однако ещё предстоит большая работа по широкому внедрению новой парадигмы организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики в научные исследования (теоретические и прикладные) и преподавание.

Кратко продемонстрируем применение идей данной монографии при преподавании в МГТУ им. Н. Э. Баумана таких учебных дисциплин, как «Статистика», «Эконометрика», «Организационно-экономическое моделирование», «Разработка и принятие управленческих решений» и др.

7.3. Содержание современного курса «Статистика»

Текущие программы учебных курсов нашего преподавательского коллектива широко представлены в разделе «Преподавание» форума сайта «Высокие статистические технологии» (<https://orlovs.pp.ru/forum/viewforum.php?f=3>). В качестве примера приведём типовое содержание курса «Статистика», который мы читаем на втором году обучения студентам факультета «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

1. Первая статистическая публикация — описание процедуры и результатов переписи военнообязанных в книге «Числа» Ветхого Завета. Методологическая несостоятельность Росстата по сравнению с Библией.

2. Основные этапы развития представлений о статистике. Шекспир, государствоведение, Наполеон. Определение Б. В. Гнеденко.

3. Прикладная статистика — наука о том, как обрабатывать данные. Данные — любой вид зарегистрированной информации. Статистическая совокупность, генеральная совокупность, выборочная со-

вокупность (выборка), их единицы. Современный этап — «большие данные» (пример — РИНЦ).

4. Признак — функция, определённая для единиц совокупности, значение признака — значение этой функции. Примеры значений признаков — числа, градации из некоторого множества (упорядоченные градации — порядковые признаки, неупорядоченные — номинальные признаки, два возможных значения — альтернативные (дихотомические, бинарные) признаки).

5. Выборка — 1) часть генеральной совокупности, 2) реализации (т. е. значения для определённого элементарного исхода) независимых одинаково распределённых случайных величин. Объём выборки.

6. Таблицы выборочных распределений. Данные с повторами (сгруппированные данные).

7. Вариационный ряд и порядковые статистики.

8. Выборочное среднее арифметическое и математическое ожидание. Закон больших чисел. Расчёт выборочного среднего арифметического по сгруппированным данным.

9. Основные понятия теории статистического оценивания: состоятельные и несмещённые оценки (на примере выборочного среднего арифметического как оценки математического ожидания).

10. Выборочная и теоретическая дисперсии. Несмещённая оценка теоретической дисперсии. Две формулы для расчёта выборочной дисперсии.

11. Выборочное среднее квадратическое отклонение и его аналог — теоретическое среднее квадратическое (среднее квадратичное, стандартное) отклонение.

12. Выборочный и теоретический коэффициенты вариации.

13. Минимум, максимум и размах как выборочные характеристики.

14. Мода выборки и амплитуда моды.

15. Выборочная медиана и теоретическая медиана.

16. Выборочные и теоретические верхний квартиль, нижний квартиль и межквартильное расстояние.

17. Расчёт средних характеристик (средней арифметической, медианы, моды) заработной платы для условного предприятия.

18. Выборочные моменты. Показатели асимметрии и эксцесса.

19. Данные с повторами (сгруппированные данные) и соответствующие варианты формул для расчёта выборочных характеристик.

20. Непосредственный анализ статистических данных. Сравнение объёмов выпуска продукции в РФ за 1990 г. и текущий год.

21. Динамика макроэкономических характеристик РФ.

22. Динамика доли государства в экономике в XX в.
23. Демографическая статистика. Демографические прогнозы.
24. Эмпирическая функция распределения. График эмпирической функции распределения. Свойства эмпирической функции распределения. Теорема Гливленко.
25. Статистика Колмогорова и её распределение.
26. Основные идеи теории проверки статистических гипотез. Уровень значимости и мощность критерия. Лемма Неймана — Пирсона.
27. Критерий Колмогорова — критерий согласия с заданным фиксированным распределением.
28. Статистика омега-квадрат (Крамера — Мизеса — Смирнова) и её распределение.
29. Критерий согласия с заданным фиксированным распределением на основе статистики омега-квадрат (Крамера — Мизеса — Смирнова).
30. Гистограммы. Формула Стерджесса.
31. Непараметрические ядерные оценки плотности.
32. Прикладная статистика как наука о том, как обрабатывать данные — результаты наблюдений, измерений, испытаний, анализов, опытов. Статистические технологии. Десять основных этапов прикладного статистического исследования.
33. Необходимость выборочных исследований.
34. Биномиальная и гипергеометрическая модели выборки, их близость в случае большого объёма генеральной совокупности по сравнению с выборкой.
35. Построение выборочной функции ожидаемого спроса и расчёт оптимальной розничной цены при заданной оптовой цене (издержках).
36. Интервальное оценивание выборочной доли. Вывод формул на основе теоремы Муавра — Лапласа.
37. Метод проверки гипотезы о равенстве долей.
38. Среднее арифметическое и его свойства. Сумма всех отклонений индивидуальных значений от выборочной средней арифметической. Изменение среднего арифметического при изменении всех значений варьирующего признака на одну и ту же величину.
39. Оптимизационные задачи, решениями которых являются выборочное среднее арифметическое и математическое ожидание. Разложение средних квадратов ошибки (теоретического и выборочного).

40. Среднее геометрическое. Свойства среднего геометрического. Неравенство между средним арифметическим и средним геометрическим. Изменение среднего геометрического при умножении усредняемых величин на константу. Переход к среднему арифметическому путём логарифмирования.

41. Среднее квадратическое и среднее гармоническое.

42. Степенное среднее и его частные случаи. Среднее геометрическое как предел степенных средних. Изменение степенного среднего при умножении усредняемых величин на константу.

43. Среднее по Коши и его частные случаи. Члены вариационного ряда как средние по Коши.

44. Оптимизационная задача, решением которой является выборочная медиана (при нечётном объёме выборки) и интервал между левой и правой медианами (при чётном объёме выборки).

45. Средние по Колмогорову — определение и частные случаи. Степенные средние и среднее геометрическое как частные случаи средних по Колмогорову.

46. Взвешенные средние по Колмогорову (I типа — построенные по выборке, и II типа — построенные по вариационному ряду) и их частные случаи.

47. Эмпирическое распределение. Выборочная медиана как медиана эмпирического распределения (при чётном объёме выборки $n = 2k$ — интервал от k -го до $(k + 1)$ -го члена вариационного ряда).

48. Взвешенная медиана I типа (медиана случайной величины, вероятности совпадения которой с элементами выборки заданы) и взвешенная медиана II типа (медиана случайной величины, вероятности совпадения которой с членами вариационного ряда заданы).

49. Основные понятия теории измерений. Определения, примеры, группы допустимых преобразований для шкал наименований, порядка, интервалов, отношений, разностей, абсолютной. Требование устойчивости (инвариантности) статистических выводов относительно допустимых преобразований шкал.

50. Средние по Коши, результат сравнения которых устойчив в порядковой шкале.

51. Средние по Колмогорову, результат сравнения которых устойчив в шкалах интервалов и отношений.

52. Показатели разброса. Особая роль дисперсии.

53. Внутригрупповая дисперсия и межгрупповая дисперсия. Разложение общей дисперсии на внутригрупповую и межгрупповую (разложение дисперсий Р. А. Фишера). Однофакторный дисперсионный анализ и распределение Фишера.

54. Выборочный и теоретический линейные парные коэффициенты корреляции К. Пирсона и их свойства.

55. Выборочный коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

56. Вероятностно-статистические модели временных рядов. Математическое ожидание, дисперсия, автокорреляционная функция. Стационарные временные ряды.

57. Временные ряды (ряды динамики). Тренд, периодические колебания, случайные отклонения. Моментные и интервальные ряды. Полные и неполные ряды. Ряды абсолютных показателей и ряды относительных показателей. Графики.

58. Основные показатели (характеристики) временных рядов (рядов динамики). Абсолютный прирост. Темп роста. Темп прироста. Цепные показатели и базисные показатели.

59. Сглаживание временных рядов (рядов динамики). Метод укрупнённых интервалов.

60. Скользящие средние.

61. Сглаживание временных рядов (рядов динамики) методом наименьших квадратов. Детерминированная постановка задачи минимизации. Метод наименьших квадратов (в сравнении с графическим методом, методом наименьших модулей (Лежандр) и методом минимизации максимального отклонения (Чебышёв)). Подход метода наименьших квадратов к оцениванию параметров. Решение для случая линейного тренда. Пример восстановления линейной зависимости с помощью таблицы.

62. Восстановленные значения и оценка точности восстановления функции методом наименьших квадратов. Критерий правильности расчётов.

63. Вероятностно-статистическая модель порождения данных в методе наименьших квадратов. Оценка остаточной дисперсии. Точечный и интервальный прогноз.

64. Метод наименьших квадратов для модели, линейной по параметрам. Оценивание коэффициентов многочлена. Пакеты программ. Преобразования переменных.

65. Метод наименьших квадратов в случае нескольких независимых переменных (регрессоров). Оценивание параметров функции Кобба — Дугласа. Интерпретация результатов сравнения восстановленных и исходных значений производственной функции.

66. Оценивание динамики потребительских цен на товары и услуги. Краткая история инфляции в России (1990–2024). Индиви-

дуальные индексы. Весовые коэффициенты, задаваемые потребительской корзиной. Индекс потребительских цен (индекс инфляции).

67. Теорема умножения для индекса инфляции. Средний индекс (темп) инфляции. Годовая и среднемесячная инфляция.

68. Теорема сложения для индекса инфляции.

69. Применения индекса инфляции. Приведение к сопоставимым ценам. Реальные проценты платы за депозит. Реальные проценты платы за кредит. Оценка прожиточного минимума по методу Оршански.

70. Примеры инфляционных процессов в различных странах и в различные времена. Инфляция в Германии в 1923 г. (по роману Э. М. Ремарка «Чёрный обелиск»).

71. Курс доллара в сопоставимых ценах. Международные сопоставления на основе паритета покупательной способности.

72. Виды инфляции: спроса, издержек, административная.

73. Индекс — показатель сравнения двух состояний одного и того же явления. Индивидуальный индекс. Сводный (общий) индекс. Отчётные данные и базисные данные. Индекс как показатель центральной тенденции.

74. Индексы Ласпейреса, Пааше, Ирвинга Фишера.

75. Развитие статистики в России. Земская статистика. Вред решений Всесоюзного совещания статистиков 1954 г.

76. Структура современной статистической науки (математическая статистика — прикладная статистика — статистические методы в предметных областях).

77. Этапы развития прикладной математической статистики. Описательная статистика (до 1900 г.) — тексты, таблицы, графики, отдельные расчётные приёмы (выборочное среднее арифметическое, МНК).

78. Параметрическая статистика (1900–1933) — модели параметрических семейств распределений — нормальных, гамма- и др., теория оценивания параметров и проверки гипотез.

79. Непараметрическая статистика (1933–1979) — произвольные непрерывные распределения, непараметрические методы оценивания и проверки гипотез.

80. Нечисловая статистика (с 1979 г.) — выборка состоит из элементов произвольных пространств, использования показателей различия и расстояний.

81. Деление статистики по виду данных: статистика случайных величин, многомерный статистический анализ, статистика временных рядов и случайных процессов, нечисловая статистика.

В 2025 г. была реализована несколько иная программа курса «Прикладная статистика».

1. Первая статистическая публикация — описание процедуры и результатов переписи военнообязанных в книге «Числа» Ветхого Завета. Методологическая несостоятельность Росстата по сравнению с Библией.

2. Основные этапы развития представлений о статистике. Шекспир, государствоведение, Наполеон. Определение Б. В. Гнеденко.

3. Прикладная статистика — наука о том, как обрабатывать данные. Данные — любой вид зарегистрированной информации. Статистическая совокупность, генеральная совокупность, выборочная совокупность (выборка), их единицы. Современный этап — «большие данные» (пример — РИНЦ).

4. Признак — функция, определённая для единиц совокупности, значение признака — значение этой функции. Примеры значений признаков — числа, градации из некоторого множества (упорядоченные градации — порядковые признаки, неупорядоченные — номинальные признаки, два возможных значения — альтернативные (дихотомические, бинарные) признаки).

5. Выборка — 1) часть генеральной совокупности, 2) реализации (т. е. значения для определённого элементарного исхода) независимых одинаково распределённых случайных величин. Объём выборки.

6. Таблицы выборочных распределений. Данные с повторами (сгруппированные данные).

7. Вариационный ряд.

8. Выборочное среднее арифметическое и математическое ожидание. Закон больших чисел. Расчёт выборочного среднего арифметического по сгруппированным данным.

9. Основные понятия теории статистического оценивания: состоятельные и несмещённые оценки (на примере выборочного среднего арифметического как оценки математического ожидания).

10. Выборочная и теоретическая дисперсии. Несмещённая оценка теоретической дисперсии. Две формулы для расчёта выборочной дисперсии. Несмещённая оценка теоретической дисперсии.

11. Выборочное среднее квадратическое отклонение и его аналог — теоретическое среднее квадратическое (среднее квадратичное, стандартное) отклонение.

12. Выборочный и теоретический коэффициенты вариации.

13. Минимум, максимум и размах как выборочные характеристики.

14. Мода выборки и амплитуда моды.

15. Выборочная медиана. Теоретическая медиана и теоретические квантили.

16. Выборочные и теоретические верхний квартиль, нижний квартиль и межквартильное расстояние.

17. Расчёт средних характеристик (средней арифметической, медианы, моды) заработной платы для условного предприятия.

18. Выборочные моменты. Показатели асимметрии и эксцесса.

19. Необходимость выборочных исследований. Гипергеометрическая модель выборки. Биномиальная модель выборки. Близость гипергеометрической и биномиальной моделей выборки в случае большого объёма генеральной совокупности по сравнению с выборкой.

20. Анализ результатов выборочных исследований (в случае ответов типа «да» — «нет»). Интервальное оценивание вероятности. Метод проверки гипотезы о равенстве вероятностей.

21. Методы восстановления простейшей линейной зависимости (постановки задач). Графический метод. Метод наименьших модулей. Метод минимакса. Метод наименьших квадратов (МНК).

22. Оценки метода наименьших квадратов для линейной зависимости. Подход к оцениванию параметров.

23. Восстановленные значения. Критерий правильности расчётов.

24. Практически все распределения реальных данных ненормальны. Непараметрическая вероятностно-статистическая модель. Оценка остаточной дисперсии. Точечный и интервальный прогноз. Центральная предельная теорема — основа построения интервального прогноза.

25. МНК для сгруппированных данных. МНК для модели, линейной по параметрам. Оценивание коэффициентов многочлена. Преобразования переменных. Случай нескольких независимых переменных (регрессоров). Оценивание параметров функции Кобба — Дугласа.

26. Вероятностно-статистические модели временных рядов. Математическое ожидание, дисперсия, автокорреляционная функция. Стационарные временные ряды.

27. Временные ряды (ряды динамики). Тренд, периодические колебания, случайные отклонения. Моментные и интервальные ряды. Полные и неполные ряды. Ряды абсолютных показателей и ряды относительных показателей. Графики.

28. Основные показатели (характеристики) временных рядов (рядов динамики). Абсолютный прирост. Темп роста. Темп прироста. Цепные показатели и базисные показатели.

29. Сглаживание временных рядов (рядов динамики). Метод укрупнённых интервалов. Скользящие средние. Сглаживание временных рядов (рядов динамики) методом наименьших квадратов (детерминированная постановка задачи минимизации).

30. Инфляция как рост цен. Краткая история инфляции в России на рубеже тысячелетий. Разброс цен во времени и пространстве. Потребительские корзины. Определение индекса инфляции. Учёт разброса цен в пространстве. Потребительская корзина Института высоких статистических технологий и эконометрики.

31. Теорема умножения для индексов инфляции. Индекс инфляции в процентах. Средний индекс (темп) инфляции (средний темп роста цен), годовой и среднемесячный индексы инфляции.

32. Теорема сложения для индексов инфляции и её значение.

33. Использование индекса инфляции в экономических расчётах. Приведение к сопоставимым ценам. Учёт инфляции при экономическом анализе динамики финансово-хозяйственного положения предприятия.

34. Реальные проценты на вклады в банки и за кредиты в случае инфляции.

35. Инфляция и прожиточный минимум. Метод Оршански оценки прожиточного минимума.

36. Курс доллара США в России в сопоставимых ценах.

37. Международные сопоставления на основе паритета покупательной способности.

38. Основные сведения об инфляционных процессах в различных странах мира. Виды инфляции: спроса, издержек, административная.

39. Примеры процедур экспертного оценивания.

40. Основные стадии проведения экспертного исследования.

41. Различные варианты организации экспертного исследования, различающиеся по числу туров, порядку вовлечения экспертов, способу учёта мнений, организации общения экспертов.

42. Построение мнения комиссии экспертов при анализе экспертных упорядочений (на основе суммы рангов, медианы рангов, путём построения согласующей ранжировки).

43. Основные понятия теории измерений. Определения, примеры, группы допустимых преобразований для шкал наименований, порядка, интервалов, отношений, разностей, абсолютной. Требование устойчивости (инвариантности) статистических выводов относительно допустимых преобразований шкал.

44. Среднее арифметическое и его свойства. Сумма всех отклонений индивидуальных значений от выборочной средней арифмети-

ческой. Изменение среднего арифметического при изменении всех значений варьирующего признака на одну и ту же величину.

45. Оптимизационные задачи, решениями которых являются выборочное среднее арифметическое и математическое ожидание.

46. Разложение средних квадратов ошибки (теоретического и выборочного).

44. Среднее геометрическое и его свойства. Неравенство между средним арифметическим и средним геометрическим. Изменение среднего геометрического при умножении усредняемых величин на константу. Переход к среднему арифметическому путём логарифмирования.

45. Среднее квадратическое и среднее гармоническое.

46. Степенное среднее и его частные случаи. Среднее геометрическое как предел степенных средних. Изменение степенного среднего при умножении усредняемых величин на константу.

47. Среднее по Коши и его частные случаи. Члены вариационного ряда как средние по Коши.

48. Оптимизационная задача, решением которой является выборочная медиана (при нечётном объёме выборки) и интервал между левой и правой медианами (при чётном объёме выборки).

49. Средние по Колмогорову — определение и частные случаи. Степенные средние и среднее геометрическое как частные случаи средних по Колмогорову.

50. Средние по Коши, результат сравнения которых устойчив в порядковой шкале.

51. Средние по Колмогорову, результат сравнения которых устойчив в шкалах интервалов и отношений.

52. Выборочный и теоретический линейные парные коэффициенты корреляции К. Пирсона и их свойства.

53. Выборочный коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

54. Основные этапы развития статистической науки (этапы описательной, параметрической, непараметрической статистики, статистики нечисловых данных).

55. Структура статистической науки (математическая статистика — прикладная статистика — статистические методы в предметных областях). Области статистики по виду данных и решаемым задачам.

56. Непосредственный анализ данных официальной экономической статистики. Динамика выпуска отдельных видов продукции (в натуральных единицах) и макроэкономических показателей в РФ.

57. Возрастание в XX в. роли государства в экономике (в экономически развитых странах). Сравнение государственных и частных

предприятий по эффективности (относительная эффективность сектора в странах Европейского союза).

58. Демографические прогнозы в экономике.

7.4. Отечественная научная школа в области математических методов исследования

Академик АН СССР А. Н. Колмогоров (1903–1987) — основоположник отечественной научной школы в области теории вероятностей и математической статистики. Его основные работы собраны в трёхтомнике [37–39]. Они отнюдь не устарели. Это утверждение направлено против тех, кто ошибочно полагает актуальными лишь работы последних 5 или 10 лет. Его мы обосновали в работах [54, 172].

Обратим внимание на работы А. Н. Колмогорова по теории информации [39]. Под его редакцией был выпущен перевод книги С. Кульбака «Теория информации и статистика» [56]. Дальнейшее развитие этих идей привело к созданию Е. В. Луценко системно-когнитивного анализа и разработке его замечательной программной системы «Эйдос» — важных составных частей системной нечёткой интервальной математики [254, 255].

Много замечательных научных результатов получили такие ученики и сотрудники А. Н. Колмогорова, как академик АН УССР Б. В. Гнеденко (1912–1995) и профессор В. В. Налимов (1970–1997). Автор данной монографии относит себя к научной школе А. Н. Колмогорова, а непосредственными учителями называет в своих книгах Б. В. Гнеденко и В. В. Налимова. Именно они основали в 1962 г. раздел «Математические методы исследования» в журнале «Заводская лаборатория» (сейчас он называется «Заводская лаборатория. Диагностика материалов»). Название этого раздела — начало названия данной монографии.

Многое сделал Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика». С момента организации Совета в 1959 г. и до своей смерти в 1979 г. им руководил академик АН СССР Аксель Иванович Берг, адмирал-инженер, заместитель министра обороны (1953–1957). Распространённое мнение о притеснениях кибернетики в СССР не вполне адекватно. Выступали против неё гуманитарии. Известна статья в Философском словаре, статьи аспиранта-психолога М. Г. Ярошевского. Он полагал, что кибернетика — лжетеория, которая враждебна народу и науке. В 1951 г. опубликовал статью «Семантический идеализм — философия империалистической реакции». В ней он критиковал утверждение о том, что мышление представляет собой оперирование знаками, а в качестве идеальной формы такого

оперирования выдвигается математическое исчисление. В 1952 г. вышла статья М. Г. Ярошевского, целиком посвящённая разоблачению кибернетики, под названием «Кибернетика — „наука“ мракобесов». Позже он раскаялся в своих юношеских заблуждениях. Руководство СССР одёрнуло подобных критиков, поскольку осознавало значение кибернетики для народного хозяйства и обороны. О первых шагах кибернетики в СССР рассказано, например, в статье [20].

В составе Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» работали различные секции, в том числе секция «Планирование эксперимента» под руководством В. В. Налимова. В этой секции действовала комиссия «Экспертные оценки», а в ней — подкомиссия «Статистика объектов нечисловой природы». В рамках этих структур были получены первоначальные результаты по тематике данной монографии.

После смерти А. И. Берга председателем Научного совета был назначен академик О. М. Белоцерковский (ректор Московского физико-технического института), который почти сразу же полностью развалил эту уникальную организацию. В течение четверти века продолжалось «посмертное» существование, и 9 августа 2005 г. Научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» был ликвидирован.

Кибернетика как наука, конечно, продолжала существовать. Вдохновенно писал о ней академик Н. Н. Моисеев в книге «Люди и кибернетика» [81]. Современное состояние этой научной области обсуждает академик РАН, директор Института проблем управления РАН Д. А. Новиков в книге [96].

Как уже говорилось в данной монографии, в 1980-х гг. развернулось научно-общественное движение в области математических методов исследования. Его наиболее яркие достижения — создание Всесоюзного центра статистических методов и информатики при правлении Всесоюзного экономического общества (1989) и Всесоюзной статистической ассоциации (1990). Эти структуры, как и всё научно-общественное движение, прекратили свою деятельность в результате развала Советского Союза. Попытки возрождения в течение 1990-х гг. не привели к успеху. Поэтому с начала XXI в. основная активность проявлялась в виде записи задуманного и сделанного ранее, в публикации учебников, монографий, статей [246]. Можно с удовлетворением констатировать, что в результате работ 1980–2025 гг. создана отечественная научная школа в области математических методов исследования, организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики [200, 217].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной монографии рассмотрены базовые идеи нового этапа развития математических методов исследования. Многочисленные исследования по конкретным вопросам лишь упоминаются, поскольку они легко доступны в интернете, ссылки на соответствующие ресурсы включены в монографию. Разбор полученных научных результатов превратил бы книгу в многотомное собрание сочинений.

Переход к новой парадигме в этой области произошёл в результате научной революции. Как свидетельствует опыт раздела «Математические методы исследования» журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», ведущие исследователи перешли на новую парадигму. Однако многое ещё предстоит сделать.

Необходимо проведение дальнейших исследований по разработке положений новой парадигмы, в частности, по развитию вышедшей на первый план в результате научной революции статистики нечисловых данных.

Продолжают преподаваться и использоваться научные результаты, полученные на основе предыдущих парадигм, например, в рамках параметрической статистики. Необходимо их проанализировать с точки зрения новой парадигмы, выяснить, какими из них можно продолжать пользоваться, а какие целесообразно вывести из употребления.

Необходима разработка различных программных продуктов, соответствующих новой парадигме. Примером является система «Эйдос».

Следует накапливать и анализировать опыт практического применения научных результатов, полученных на основе новой парадигмы, в сопоставлении с устаревшими подходами. Имеется в виду опыт их применения для решения прикладных задач в различных областях науки и отраслях народного хозяйства.

Преподавание математических методов исследования должно быть пересмотрено в соответствии с новой парадигмой. В частности, в базовые курсы математических дисциплин должны войти основы системной нечёткой интервальной математики. В том числе таких её разделов, как статистика нечисловых данных, теория нечётких множеств, системно-когнитивный анализ, статистика интервальных данных, теория измерений, теория бинарных отношений. А также основы других областей математических методов исследования, созданных и вышедших на первый план в результате научной революции.

Успешная реализация намеченной программы возможна лишь на основе соответствующих организационных систем. Требуется развитие инфраструктуры, обеспечивающей развитие математических методов исследования на основе новой парадигмы. Необходимо проведение научных обсуждений (конференций), обеспечение возможности публикаций, проведения исследований и преподавания на основе новой парадигмы. Нужны кадры и финансирование. Выше кратко описана история развития статистических методов в нашей стране, значение деятельности Межфакультетской лаборатории статистических методов МГУ им. М. В. Ломоносова, Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», Всесоюзного центра статистических методов и информатики, Всесоюзной статистической ассоциации. Аналогичные организационные структуры нужны и сейчас, на новом витке исторического развития.

В данной монографии впервые в мире раскрыта суть научной революции на основе новой парадигмы математических методов исследования. Автор отдаёт себе отчёт в том, что в изложении есть много недостатков, за что просит прощения у читателей.

Дальнейшие исследования необходимы. И есть надежда и уверенность, что они последуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агаларов, З. С.* Эконометрика : учеб. / З. С. Агаларов, А. И. Орлов. — 3-е изд. — М. : Дашков и К, 2024. — 380 с.
2. *Беляев, Е. А.* Философские и методологические проблемы математики / Е. А. Беляев, В. Я. Перминов. — М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 1981. — 215 с.
3. *Бернштейн, С. Н.* Современное состояние теории вероятностей и её приложений / С. Н. Бернштейн // Труды Всероссийского съезда математиков в Москве 27 апреля — 4 мая 1927 г. — М. ; Л. : ГИЗ, 1928. — С. 50–63.
4. *Большев, Л. Н.* Избранные труды. Теория вероятностей и математическая статистика / Л. Н. Большев. — М. : Наука, 1987. — 286 с.
5. *Большев, Л. Н.* Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. — 3-е изд. — М. : Наука, 1983. — 417 с.
6. Большой Энциклопедический Словарь. — М. : Большая Российская Энциклопедия, 1997. — 1600 с.
7. 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 НЦ Российской академии наук. — 2012. — Т. 14, № 4 (2). — С. 380–385.
8. *Вейль, Г.* О философии математики / Г. Вейль. — 2-е изд., стер. — М. : URSS, КомКнига, 2005. — 127 с.
9. Вероятность и математическая статистика. Энциклопедия / гл. ред. Ю. В. Прохоров. — М. : Изд-во «Большая Российская Энциклопедия», 1999. — 910 с.
10. *Винер, Н. Я.* — математик / Н. Винер. — 2-е изд., стер. — М. : Наука, 1967. — 356 с.
11. *Волков, В. А.* Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов / В. А. Волков, А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 97. — С. 181–202.
12. *Волков, В. А.* Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости проектов по созданию ракетно-космической техники / В. А. Волков, А. И. Орлов // Экономический анализ: теория и практика. — 2014. — № 11 (362). — С. 41–47.

13. Вторые Чарновские чтения. Сб. тр. Матер. II Междунар. науч. конф. по организации производства. Москва, 7–8 декабря 2012 г. — М. : НП «Объединение контроллеров», 2013. — 201 с.

14. Гнеденко, Б. В. Математика и контроль качества продукции / Б. В. Гнеденко. — М. : Знание, 1978. — 64 с.

15. Гнеденко, Б. В. Очерк по истории теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. — М. : УРСС, 2001. — 88 с.

16. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. — 8-е изд., испр. и доп. — М. : Едиториал УРСС, 2005. — 448 с.

17. Гнеденко, Б. В. Воспоминания: Моя жизнь в математике и математика в моей жизни / Б. В. Гнеденко. — 2-е изд. — М. : URSS, 2015. — 624 с.

18. Демидов, Я. П. Теория и практика современного рейтингования: критические заметки / Я. П. Демидов // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 8 (311). — С. 14–19.

19. Дутов, А. В. Формирование научно-технического задела в судостроении / А. В. Дутов, И. М. Калинин. — СПб. : ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2013. — 308 с.

20. Непростая судьба кибернетики в СССР / А. М. Дюрик, К. А. Ершова, В. А. Китов [и др.] // Научные труды Вольного экономического общества России. — 2014. — Т. 186. — С. 618–623.

21. Ермоленко, В. В. Интеллектуальные системы в контроллинге и менеджменте средних и малых фирм : моногр. (науч. издание) / В. В. Ермоленко, Е. В. Луценко, В. Е. Коржаков ; под науч. ред. Е. В. Луценко. — Майкоп : АГУ, 2011. — 392 с.

22. Жуков, Н. И. Философские основания математики / Н. И. Жуков. — 3-е изд., стер. — М. : URSS, 2022. — 112 с.

23. Загоруйко, Н. Г. Некоторые нерешённые математические задачи прикладной статистики / Н. Г. Загоруйко, А. И. Орлов // Современные проблемы кибернетики (прикладная статистика). — М. : Знание, 1981. — С. 53–63.

24. Захаров, М. Н. Ситуации инженерно-экономического анализа / М. Н. Захаров, И. Н. Омельченко, А. С. Саркисов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 430 с.

25. Институт высоких статистических технологий и эконометрики. — URL: <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=5&t=1360> (дата обращения: 23.10.2025).

26. Каган, А. М. Характеризационные задачи математической статистики / А. М. Каган, Ю. В. Линник, С. Р. Рао. — М. : Наука, 1972. — 656 с.

27. Карминский, А. М. Кредитные рейтинги и их моделирование / А. М. Карминский. — М. : ИД Высшей школы экономики, 2015. — 304 с.

28. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А. М. Карминский, Н. И. Оленев, А. Г. Примаков, С. Г. Фалько. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 256 с.

29. Карминский, А. М. Рейтинги в экономике: методология и практика / А. М. Карминский, А. А. Пересецкий, А. Е. Петров. — М. : Финансы и статистика, 2005. — 240 с.

30. Карпычев, В. Ю. Информационные технологии в экономических исследованиях / В. Ю. Карпычев // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 20 (323). — С. 2–11.

31. Кафедра философии естественных факультетов МГУ им. М. В. Ломоносова. — URL: <https://philos.msu.ru/kaf/nature?ysclid=mflgs3ibxr519048753> (дата обращения: 23.10.2025).

32. Квинн, Ф. Революция в математике? Что на самом деле произошло сто лет назад и почему это важно сегодня / Ф. Квинн // Философия науки. — 2014. — № 3 (62). — С. 93–111.

33. Кендалл, М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стьюарт. — М. : Наука, 1966. — 566 с.

34. Кендалл, М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стьюарт. — М. : Наука, 1973. — 899 с.

35. Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендалл, А. Стьюарт. — М. : Наука, 1976. — 736 с.

36. Клейн, Ф. Лекции о развитии математики в XIX столетии / Ф. Клейн. — М. ; Л. : Объед. науч.-техн. изд-во НКТП СССР, 1937. — Ч. I. — 432 с.

37. Колмогоров, А. Н. Избранные труды. Математика и механика / А. Н. Колмогоров. — М. : Наука, 1985. — 470 с.

38. Колмогоров, А. Н. Теория вероятностей и математическая статистика / А. Н. Колмогоров. — М. : Наука, 1986. — 535 с.

39. Колмогоров, А. Н. Теория информации и теория алгоритмов / А. Н. Колмогоров. — М. : Наука, 1987. — 304 с.

40. Колмогоров, А. Н. Математика в её историческом развитии: Развивающаяся наука. Математическое мышление. Научные биографии / А. Н. Колмогоров. — 3-е изд. — М. : URSS, 2022. — 224 с.

41. Колмогоров, А. Н. Основные понятия теории вероятностей / А. Н. Колмогоров. — М. : Ленанд, 2025. — 120 с.

42. 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. — М. : Экзамен, 2008. — 621 с.

43. *Комаров, Д. М.* Роль методологических исследований в разработке методоориентированных экспертных систем (на примере оптимизационных и статистических методов) / Д. М. Комаров, А. И. Орлов // Вопросы применения экспертных систем. — Минск : Центросистем, 1988. — С. 151–160.

44. Контроллинг / А. М. Карминский, С. Г. Фалько, Н. Ю. Иванова, А. А. Жевага. — 4-е, изд., испр. и доп. — М. : ИНФРА-М, 2024. — 252 с.

45. Контроллинг в банке : учеб. пособие / А. М. Карминский, С. Г. Фалько, А. А. Жевага, А. В. Моргунов. — 2-е изд. — М. : ИНФРА-М, 2025. — 284 с.

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

47. Контроллинг как инструмент управления предприятием / Е. А. Ананькина, С. В. Данилочкин, Н. Г. Данилочкина [и др.] ; под ред. Н. Г. Данилочкиной. — М. : Аудит ; ЮНИТИ, 2009. — 279 с.

48. Контроллинг на промышленном предприятии / А. М. Карминский, С. Г. Фалько, В. О. Тихвинский [и др.]. — 2-е изд. — М. : ИНФРА-М, 2024. — 295 с.

49. *Корнев, В. П.* Видные деятели отечественной статистики. 1686–1990. Биографический словарь / В. П. Корнев. — М. : Финансы и статистика, 1993. — 200 с.

50. *Косилова, Е. В.* Философия математики / Е. В. Косилова // Большая Российская энциклопедия. — URL: <https://bigenc.ru/c/filosofiia-matematiki-5fba39?ysclid=mfi5tiady1677504920> (дата обращения: 23.10.2025).

51. *Косилова, Е. В.* Философия математики: актуальные проблемы (Обзор конф. в МГУ 28–30 мая 2009 г.) / Е. В. Косилова // Эпистемология и философия науки. — 2009. — Т. 22, № 4. — С. 184–187.

52. *Косилова, Е. В.* Универсальная истина или продукт культуры? О чем спорят московские философы математики / Е. В. Косилова // Нож. Интеллектуальный журнал о культуре и обществе. 1 июня 2020 г. — URL: <https://knife.media/mathphil-seminar/#card-4> (дата обращения: 23.10.2025).

53. *Крамер, Г.* Математические методы статистики / Г. Крамер. — 2-е изд. — М. : Мир, 1975. — 648 с.

54. 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.
55. Куликова, С. Ю. Современная эконометрика и её преподавание / С. Ю. Куликова, В. С. Муравьева, А. И. Орлов // Контроллинг. — 2022. — № 83. — С. 50–58.
56. Кульбак, С. Теория информации и статистика : пер. с англ. / С. Кульбак. — М. : Наука, 1967. — 408 с.
57. Кун, Т. Структура научных революций : пер. с англ. / Т. Кун ; сост. В. Ю. Кузнецов. — М. : ООО «Изд-во АСТ», 2002. — 608 с.
58. Ленин, В. И. Развитие капитализма в России. Процесс образования внутреннего рынка для крупной промышленности / В. И. Ленин. — М. : Политиздат, 1986. — Т. XII. — 610 с.
59. Лойко, В. И. Высокие статистические технологии и системно-когнитивное моделирование в экологии : моногр. / В. И. Лойко, Е. В. Луценко, А. И. Орлов. — Краснодар : КубГАУ, 2019. — 258 с.
60. Лопатников, Л. И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки / Л. И. Лопатников. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Дело, 2003. — 520 с.
61. Луценко, Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ / Е. В. Луценко — URL: <http://lc.kubagro.ru/aidos/ASK-analysis.htm> (дата обращения; 23.10.2025).
62. Луценко, Е. В. Когнитивные функции как обобщение классического понятия функциональной зависимости на основе теории информации в системной нечёткой интервальной математике / Е. В. Луценко, А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 95. — С. 122–183.
63. Лындина, М. И. Математическая теория рейтингов / М. И. Лындина, А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 114. — С. 1–26.
64. Мазуров, Вл. Д. Философия математики / Вл. Д. Мазуров // Вестник Урал. ин-та экономики, управления и права. — 2016. — № 1 (34). — С. 56–67.
65. Мандель, И. Теория статистики и прикладная статистика / И. Мандель // Вестник статистики. — 1987. — № 7. — С. 76–79.
66. Маркова, Е. В. Математическая теория эксперимента: история, развитие, будущее / Е. В. Маркова, Е. П. Никитина // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2002. — Т. 68, № 1. — С. 112–118.
67. Маркович, М. Хроника и информация / М. Маркович // Вестник статистики. — 1986. — № 11. — С. 62–64.

68. Математика и опыт / под ред. А. Г. Барабашева. — М. : Изд-во МГУ, 2003. — 624 с.
69. Математическая теория планирования эксперимента / под ред. С. М. Ермакова. — М. : Наука, 1983. — 392 с.
70. Математическое моделирование процессов налогообложения (подходы к проблеме) / А. И. Орлов, В. Г. Кольцов, Н. Ю. Иванова [и др.]. — М. : Изд-во ЦЭО Министерства общего и профессионального образования РФ, 1997. — 232 с.
71. Материалы республ. науч.-практ. конф. «Статистика и её применения-2015» / под ред. А. А. Абдушукурова. — Ташкент : НУУз, 2015. — 500 с.
72. Манин, Ю. И. Математика как метафора / Ю. И. Манин. — М. : МЦНМО, 2008. — 400 с.
73. Медведев, Н. В. Философская проблема обоснования математического знания: от абсолютизма к фаллибилизму / Н. В. Медведев, Е. Е. Медведева // Вестник Тамбов. ун-та. Серия: Гуманитарные науки. — 2014. — № 8 (136). — С. 20–33.
74. Методика. Проверка однородности двух выборок параметров продукции при оценке её технического уровня и качества / А. И. Орлов, Н. Г. Миронова, В. Н. Фомин, О. М. Черномордик. — М. : ВНИИСтандартизации, 1987. — 116 с.
75. Михайлова, Н. В. Философская интерпретация объектов математики в формализме, интуиционизме и платонизме / Н. В. Михайлова // Российский гуманитарный журнал. — 2015. — Т. 4, № 4. — С. 257–268.
76. Михайлова, Н. В. Переусложненность современной математики: философско-методологический анализ / Н. В. Михайлова // Российский гуманитарный журнал. — 2016. — Т. 5, № 2. — С. 122–130.
77. Михайлова, Н. В. Системная целостность концепции обоснования современной математики / Н. В. Михайлова // Вестник Вятск. гос. ун-та. — 2016. — № 2. — С. 16–19.
78. Михненко, П. А. Методология математического моделирования организационных изменений / П. А. Михненко // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 26 (329). — С. 40–48.
79. Моисеев, Н. Н. Математик задаёт вопросы... (Приглашение к диалогу) / Н. Н. Моисеев. — М. : Знание, 1974. — 191 с.
80. Моисеев, Н. Н. Математика ставит эксперимент / Н. Н. Моисеев. — М. : Наука, 1979. — 223 с.
81. Моисеев, Н. Н. Люди и кибернетика / Н. Н. Моисеев. — М. : Молодая гвардия, 1984. — 224 с.

82. *Муравьева, В. С.* Организационно-экономические инструменты в контроллинге / В. С. Муравьева, А. И. Орлов // Контроллинг. — 2021. — № 81. — С. 72–79.

83. *Муравьева, В. С.* Основные составляющие организационно-экономического моделирования / В. С. Муравьева, А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 172. — С. 182–207.

84. *Налимов, В. В.* Применение математической статистики при анализе вещества / В. В. Налимов. — М. : Физматгиз, 1960. — 430 с.

85. *Налимов, В. В.* Теория эксперимента / В. В. Налимов. — М. : Наука, 1971. — 207 с.

86. *Налимов, В. В.* Вероятностная модель языка / В. В. Налимов. — 2-е изд., расшир. — М. : Наука, 1979. — 303 с.

87. *Налимов, В. В.* Спонтанность сознания: Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности / В. В. Налимов. — М. : Изд-во «Прометей» МГПИ им. В. И. Ленина, 1989. — 288 с.

88. *Налимов, В. В.* В поисках иных смыслов / В. В. Налимов. — М. : ИГ «Прогресс», 1993. — 280 с.

89. *Налимов, В. В.* Канатоходец. Воспоминания / В. В. Налимов. — М. : ИГ «Прогресс», 1994. — 456 с.

90. *Налимов, В. В.* Логические основания планирования эксперимента / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. — 2-е изд., переработ. и расшир. — М. : Металлургия, 1981. — 151 с.

91. *Налимов, В. В.* Наукометрия. Изучение развития науки как информационного процесса / В. В. Налимов, З. М. Мульченко. — М. : Наука, 1969. — 192 с.

92. *Налимов, В. В.* Статистические методы планирования экстраемальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. К. Чернова. — М. : Физматгиз, 1965. — 340 с.

93. *Никитин, Я. Ю.* Асимптотическая эффективность непараметрических критериев / Я. Ю. Никитин. — М. : Наука, 1995. — 240 с.

94. *Никитина, Е. П.* Коллекция определений термина «статистика» / Е. П. Никитина, В. Д. Фрейдлина, А. В. Ярхо. — М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 1972. — 46 с.

95. Новая философская энциклопедия : в 4 т. / под ред. В. С. Стёпина. — М. : Мысль, 2009.

96. *Новиков, Д. А.* Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития / Д. А. Новиков. — М. : ЛЕНАНД, 2016. — 160 с.

97. Новиков, А. М. Методология / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. — М. : СИНТЕГ, 2007. — 668 с.

98. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент) / под ред. Ю. В. Сковрцова, Л. А. Некрасова. — М. : Высшая школа, 2003. — 470 с.

99. Орлов, А. А. Дисциплина «контроллинг рисков»: современный подход к преподаванию / А. А. Орлов // Контроллинг в экономике, организации производства и управлении : сб. науч. тр. X Междунар. конф. по контроллингу, Москва, 17 ноября 2023 года. — М. : Некоммерческое партнёрство «Объединение контроллеров», 2023. — С. 165–172.

100. Орлов, А. А. Методы сравнения технологий активации интуиции в принятии управленческих решений / А. А. Орлов // Инновации в менеджменте. — 2023. — № 1 (35). — С. 22–30.

101. Орлов, А. А. Методы развития интуиции для принятия управленческих решений / А. А. Орлов, А. И. Орлов // Инновации в менеджменте. — 2022. — № 2 (32). — С. 40–47.

102. Орлов, А. И. Скорость сходимости распределения статистики Мизеса — Смирнова / А. И. Орлов // Теория вероятностей и её применения. — 1974. — Т. 19, № 4. — С. 766–786.

103. Орлов, А. И. Устойчивость в социально-экономических моделях / А. И. Орлов. — М. : Наука, 1979. — 296 с.

104. Орлов, А. И. Задачи оптимизации и нечёткие переменные / А. И. Орлов. — М. : Знание, 1980. — 64 с.

105. Орлов, А. И. О развитии прикладной статистики // Современные проблемы кибернетики (прикладная статистика) / А. И. Орлов. — М. : Знание, 1981. — С. 3–14.

106. Орлов, А. И. Математика нечёткости / А. И. Орлов // Наука и жизнь. — 1982. — № 7. — С. 60–67.

107. Орлов, А. И. Некоторые вероятностные вопросы теории классификации / А. И. Орлов // Прикладная статистика. Учёные записки по статистике. — М. : Наука, 1983. — Т. 45. — С. 166–179.

108. Орлов, А. И. Распространённая ошибка при использовании критериев Колмогорова и омега-квадрат / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1985. — Т. 51, № 1. — С. 60–62.

109. Орлов, А. И. Что даёт прикладная статистика народному хозяйству? / А. И. Орлов // Вестник статистики. — 1986. — № 8. — С. 52–56.

110. Орлов, А. И. О реальных возможностях бутстрепа как статистического метода / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1987. — Т. 53, № 10. — С. 82–85.

111. Орлов, А. И. О применении статистических методов в медико-биологических исследованиях / А. И. Орлов // Вестник Академии медицинских наук СССР. — 1987. — № 2. — С. 88–94.

112. Орлов, А. И. Первый Всемирный конгресс Общества математической статистики и теории вероятностей им. Бернулли / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1987. — Т. 53, № 3. — С. 90–91.

113. Орлов, А. И. Всемирный конгресс Общества им. Бернулли / А. И. Орлов // Стандарты и качество. — 1987. — № 5. — С. 105–106.

114. Орлов, А. И. Первый Всемирный конгресс Общества математической статистики и теории вероятностей им. Бернулли / А. И. Орлов // Надёжность и контроль качества. — 1987. — № 6. — С. 54–59.

115. Орлов, А. И. О перестройке статистической науки и её применений / А. И. Орлов // Вестник статистики. — 1990. — № 1. — С. 65–71.

116. Орлов, А. И. Создана единая статистическая ассоциация / А. И. Орлов // Вестник Академии наук СССР. — 1991. — № 7. — С. 152–153.

117. Орлов, А. И. Всесоюзная статистическая ассоциация — гарантия успешного внедрения современных статистических методов / А. И. Орлов // Надёжность и контроль качества. — 1991. — № 6. — С. 54–55.

118. Орлов, А. И. Необходимость перестройки в статистике / А. И. Орлов // Статистика и перестройка. Учёные записки по статистике. — М. : Наука, 1991. — Т. 55. — С. 153–159.

119. 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.

120. Орлов, А. И. О критериях Колмогорова и Смирнова / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. — 1995. — Т. 61, № 7. — С. 59–61.

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

122. Орлов, А. И. Проблема множественных проверок статистических гипотез / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1996. — Т. 62, № 5. — С. 51–54.

123. Орлов, А. И. Сертификация и статистические методы (обобщающая статья) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1997. — Т. 63, № 3. — С. 55–62.

124. Орлов, А. И. Современная прикладная статистика / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1998. — Т. 64, № 3. — С. 52–60.

125. Орлов, А. И. Какие гипотезы можно проверять с помощью двухвыборочного критерия Вилкоксона? / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1999. — Т. 65, № 1. — С. 51–55.

126. Орлов, А. И. О развитии методологии статистических методов / А. И. Орлов // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. Межвузовский сб. науч. тр. Вып. 15. — Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2001. — С. 118–131.

127. Орлов, А. И. Некоторые нерешённые вопросы в области математических методов исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2002. — Т. 68, № 3. — С. 52–56.

128. Орлов, А. И. Высокие статистические технологии / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2003. — Т. 69, № 11. — С. 55–60.

129. Орлов, А. И. Эконометрика : учеб. для вузов / А. И. Орлов. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : Экзамен, 2004. — 576 с.

130. Орлов, А. И. Принятие решений. Теория и методы разработки управленческих решений / А. И. Орлов. — М. : ИКЦ «МарТ» ; Ростов н/Д : ИЦ «МарТ», 2005. — 496 с.

131. Орлов, А. И. Высокие статистические технологии — из науки в преподавание / А. И. Орлов // Образование через науку. Тезисы докл. Междунар. конф. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — С. 555–556.

132. Орлов, А. И. Математические методы исследования и теории измерений / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2006. — Т. 72, № 1. — С. 67–70.

133. Орлов, А. И. Прикладная статистика / А. И. Орлов. — М. : Экзамен, 2006. — 672 с.

134. Орлов, А. И. Теория принятия решений / А. И. Орлов. — М. : Экзамен, 2006. — 576 с.

135. Орлов, А. И. Математические методы исследования в работах Бориса Владимировича Гнеденко / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2007. — Т. 73, № 7. — С. 66–72.

136. Орлов, А. И. Оптимальные методы в экономике и управлении : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 44 с.

137. Орлов, А. И. Статистические пакеты — инструменты исследователя / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. — 2008. — Т. 74, № 5. — С. 76–78.

138. Орлов, А. И. Контроллинг организационно-экономических методов / А. И. Орлов // Контроллинг. — 2008. — № 4 (28). — С. 12–18.

139. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — Ч. 1 : Нечисловая статистика. — 541 с.

140. Орлов, А. И. Эконометрика : учеб. для вузов / А. И. Орлов. — 4-е изд., доп. и перераб. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 572 с.

141. Орлов, А. И. Менеджмент: организационно-экономическое моделирование / А. И. Орлов. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 475 с.

142. Орлов, А. И. Устойчивые математические методы и модели / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2010. — Т. 76, № 3. — С. 59–67.

143. Орлов, А. И. Вероятность и прикладная статистика: основные факты : справ. / А. И. Орлов. — М. : КноРус, 2010. — 192 с.

144. Орлов, А. И. Новая парадигма разработки и преподавания организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики в техническом университете / А. И. Орлов // Статистика и прикладные исследования : сб. тр. Всероссийской науч. конф. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2011. — С. 131–144.

145. Орлов, А. И. Новая парадигма прикладной статистики / А. И. Орлов // Статистика и прикладные исследования : сб. тр. Всероссийской науч. конф. — Краснодар : Изд-во КубГАУ, 2011. — С. 206–217.

146. 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. — Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2011. — 436 с.

147. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — Ч. 2 : Экспертные оценки. — 486 с.

148. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений / А. И. Орлов. — М. : КноРус, 2011. — 568 с.

149. Орлов, А. И. Новая парадигма прикладной статистики / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2012. — Т. 78, № 1. — Ч. I. — С. 87–93.

150. Орлов, А. И. Состоятельные критерии проверки абсолютной однородности независимых выборок / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2012. — Т. 78, № 11. — С. 66–70.

151. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование, эконометрика и статистика в техническом университете / А. И. Орлов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». — 2012. — № 1. — С. 106–118.

152. Орлов, А. И. Новая парадигма математической статистики / А. И. Орлов // Матер. республ. науч.-практ. конф. «Статистика и её применения-2012» / под ред. А. А. Абдушукурова. — Ташкент : НУУз, 2012. — С. 21–36.

153. Орлов, А. И. Новая парадигма организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики / А. И. Орлов // Вторые Чарновские чтения. Сб. тезисов. Матер. II Междунар. науч. конф. по организации производства. Москва, 7–8 декабря 2012 г. — М. : НП «Объединение контроллеров», 2012. — С. 116–120.

154. Орлов, А. И. Основные положения новой парадигмы организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики / А. И. Орлов // Вторые Чарновские чтения. Сб. тр. Матер. II Междунар. науч. конф. по организации производства. Москва, 7–8 декабря 2012 г. — М. : НП «Объединение контроллеров», 2013. — С. 106–117.

155. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — Ч. 3 : Статистические методы анализа данных. — 624 с.

156. Орлов, А. И. О новой парадигме организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики / А. И. Орлов // Стратегическое планирование и развитие предприятий. Секция 2. Матер. XIV Всероссийского симпозиума. Москва, 9–10 апреля 2013 г. / под ред. Г. Б. Клейнера. — М. : ЦЭМИ РАН, 2013. — С. 140–142.

157. Орлов, А. И. О новой парадигме математических методов и моделей социально-экономических процессов / А. И. Орлов // Ма-

тер. республ. науч.-практ. конф. «Новые теоремы молодых математиков-2013». — Наманган : Наманган. гос. ун-т, 2013. — С. 49–52.

158. Орлов, А. И. Средние величины и законы больших чисел в пространствах произвольной природы / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 89. — С. 175–200.

159. Орлов, А. И. Основные черты новой парадигмы математической статистики / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 90. — С. 188–214.

160. Орлов, А. И. Теория нечётких множеств — часть теории вероятностей / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 92. — С. 51–60.

161. Орлов, А. И. Теория экспертных оценок в нашей стране / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 93. — С. 1–11.

162. Орлов, А. И. О развитии статистики объектов нечисловой природы / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 93. — С. 273–309.

163. Орлов, А. И. Основные идеи статистики интервальных данных / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 94. — С. 867–892.

164. Орлов, А. И. О новой парадигме математических методов и моделей социально-экономических процессов / А. И. Орлов // Актуальные вопросы экономики и финансов в условиях современных вызовов российского и мирового хозяйства: матер. междунар. науч.-практ. конф. НОУ ВПО «СИ ВШПП», 25 марта 2013 г. — Самара : ООО «Изд-во Ас Гард», 2013. — Ч. 2. — С. 400–404.

165. Орлов, А. И. Новая парадигма математических методов экономики / А. И. Орлов // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 36 (339). — С. 25–30.

166. Орлов, А. И. О новой парадигме прикладной математики / А. И. Орлов // Философия математики: актуальные проблемы. Математика и реальность. Тезисы III Всероссийской науч. конф.; 27–28 сентября 2013 г. — М. : Центр стратегической конъюнктуры, 2013. — С. 84–87.

167. Орлов, А. И. О новой парадигме математического моделирования при управлении развитием крупномасштабных систем / А. И. Орлов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013). Материалы VII Междунар. конф., 30 сентября — 2 октября 2013 г., Москва : в 2 т. / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна / Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова

Российской академии наук. — М. : ИПУ РАН, 2013. — Т. 1 : Пленарные доклады, секции 1–3. — С. 297–299.

168. Орлов, А. И. О новой парадигме прикладной математической статистики / А. И. Орлов // Статистические методы оценивания и проверки гипотез : межвузовский сб. науч. тр. — Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2013. — Вып. 25. — С. 162–176.

169. Орлов, А. И. Математические методы теории классификации / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 95. — С. 423–459.

170. Орлов, А. И. Непараметрические критерии согласия Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат и ошибки при их применении / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 97. — С. 647–675.

171. 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.

172. Орлов, А. И. Вероятностно-статистические методы в работах А. Н. Колмогорова / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 98. — С. 158–180.

173. Орлов, А. И. Оценки плотности распределения вероятностей в пространствах произвольной природы / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 99. — С. 15–32.

174. Орлов, А. И. Прогностическая сила — наилучший показатель качества алгоритма диагностики / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 99. — С. 33–49.

175. Орлов, А. И. О подходах к разработке организационно-экономического обеспечения решения задач управления в аэрокосмической отрасли / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 99. — С. 73–100.

176. Орлов, А. И. Новый подход к изучению устойчивости выводов в математических моделях / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 100. — С. 1–30.

177. Орлов, А. И. Вероятностно-статистические методы в работах Б. В. Гнеденко / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 100. — С. 31–52.

178. Орлов, А. И. Предельная теория непараметрических статистик / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 100. — С. 226–244.

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

180. Орлов, А. И. Теория люсианов / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 101. — С. 275–304.

181. Орлов, А. И. Многообразие объектов нечисловой природы / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 102. — С. 32–63.

182. Орлов, А. И. Точки роста статистических методов / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 103. — С. 136–162.

183. Орлов, А. И. Компьютерно-статистические методы: состояние и перспективы / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 103. — С. 163–195.

184. Орлов, А. И. О методологии статистических методов / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 104. — С. 53–80.

185. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование, эконометрика и статистика при решении задач экономики и организации производства / А. И. Орлов // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2014. — Вып. 1. — URL: <http://engjournal.ru/catalog/indust/hidden/1198.html> (дата обращения: 23.10.2025).

186. Орлов, А. И. Новая парадигма анализа статистических и экспертных данных в задачах управления / А. И. Орлов // Тр. X Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'15. Москва, 26–29 января 2015 г. — М.: Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова, 2015. — С. 34–42.

187. Орлов, А. И. Статистика интервальных данных (обобщающая статья) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2015. — Т. 81, № 3. — С. 61–69.

188. Орлов, А. И. Новая парадигма математических методов исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2015. — Т. 81, № 7. — С. 5.

189. Орлов, А. И. Структура непараметрической статистики (обобщающая статья) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2015. — Т. 81, № 7. — С. 62–72.

190. Орлов, А. И. О высоких статистических технологиях / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 105. — С. 14–38.

191. Орлов, А. И. Вероятностные модели порождения нечисловых данных / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 105. — С. 39–66.

192. Орлов, А. И. Современное состояние непараметрической статистики / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 106. — С. 239–269.

193. Орлов, А. И. Предельные теоремы для ядерных оценок плотности в пространствах произвольной природы / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 108. — С. 316–333.

194. Орлов, А. И. Оценивание параметров: одношаговые оценки предпочтительнее оценок максимального правдоподобия / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 109. — С. 208–237.

195. Орлов, А. И. Проверка статистической гипотезы однородности математических ожиданий двух независимых выборок: критерий Крамера — Уэлча вместо критерия Стьюдента / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 110. — С. 197–218.

196. Орлов, А. И. Базовые результаты математической теории классификации / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 110. — С. 219–239.

197. Орлов, А. И. Взаимосвязь предельных теорем и метода Монте-Карло / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 114. — С. 27–41.

198. Орлов, А. И. Реальные и номинальные уровни значимости при проверке статистических гипотез / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 114. — С. 42–54.

199. Орлов, А. И. Распределения реальных статистических данных не являются нормальными / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 117. — С. 71–90.

200. Орлов, А. И. Отечественная научная школа в области эконометрики / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 121. — С. 235–261.

201. Орлов, А. И. О новой парадигме математических методов исследования / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 122. — С. 807–832.

202. Орлов, А. И. Метод статистических испытаний — инструмент исследователя / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2016. — Т. 82, № 7. — С. 5.

203. Орлов, А. И. Предельные теоремы и метод Монте-Карло / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2016. — Т. 82, № 7. — С. 67–72.

204. Орлов, А. И. Развитие математических методов исследования (2006–2015 гг.) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2017. — Т. 83, № 1. — Ч. 1. — С. 78–86.

205. Орлов, А. И. Значение информационно-коммуникационных технологий для математических методов исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2017. — Т. 83, № 7. — С. 5–6.

206. Орлов, А. И. Модель анализа совпадений при расчёте непараметрических ранговых статистик / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2017. — Т. 83, № 11. — С. 66–72.

207. Орлов, А. И. О влиянии методологии на последствия принятия решений / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2017. — № 125. — С. 319–345.

208. Орлов, А. И. Эконометрика как учебная дисциплина / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2017. — № 128. — С. 679–709.

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

210. Орлов, А. И. Статистическое образование в соответствии с новой парадигмой прикладной статистики / А. И. Орлов // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник / отв. ред. В. И. Герасимов. — М. : ИНИОН РАН. Отдел научного сотрудничества, 2018. — Вып. 13. Ч. 1. — С. 868–874.

211. Орлов, А. И. Статистическое образование в соответствии с новой парадигмой прикладной статистики / А. И. Орлов // Экономист. — 2018. — № 10. — С. 60–69.

212. Орлов, А. И. Статистическое образование в соответствии с новой парадигмой прикладной статистики / А. И. Орлов // Математические основы разработки и использования машинного интеллекта : сб. науч. ст., посвящённый 70-летию со дня рождения докт. техн. наук, профессора Лябаха Николая Николаевича. — Майкоп : Изд-во «ИП Кучеренко В. О.», 2018. — С. 93–108.

213. Орлов, А. И. Контроллинг явный и контроллинг скрытый / А. И. Орлов // Контроллинг. — 2018. — № 3 (69). — С. 28–32.

214. Орлов, А. И. Применение метода Монте-Карло при изучении свойств статистических критериев однородности двух независимых выборок / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2019. — № 154. — С. 55–83.

215. Орлов, А. И. Метод статистических испытаний в прикладной статистике / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2019. — Т. 85, № 5. — С. 67–79.

216. Орлов, А. И. Роль методологии в математических методах исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2019. — Т. 85, № 7. — С. 5–6.

217. Орлов, А. И. Отечественная научная школа в области организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики / А. И. Орлов // Контроллинг. — 2019. — № 73. — С. 28–35.

218. Орлов, А. И. Статистика нечисловых данных за 40 лет (обзор) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2019. — Т. 85, № 11. — С. 69–84.

219. Орлов, А. И. Статистика нечисловых данных — центральная часть современной прикладной статистики / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2020. — № 156. — С. 111–142.

220. Орлов, А. И. Инструменты контроллинга рисков / А. И. Орлов // Контроллинг. — 2020. — № 78. — С. 56–62.

221. Орлов, А. И. Основные требования к методам анализа данных (на примере задач классификации) / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2020. — № 159. — С. 239–267.

222. Орлов, А. И. Системная нечёткая интервальная математика — основа математики XXI в. / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 165. — С. 111–130.

223. Орлов, А. И. Контроллинг рисков как научная, практическая и учебная дисциплина / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2021. — № 168. — С. 154–185.

224. Орлов, А. И. Смена парадигм в прикладной статистике / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2021. — Т. 87, № 7. — С. 6–7.

225. Орлов, А. И. Прикладной статистический анализ / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 812 с.

226. Орлов, А. И. Искусственный интеллект: нечисловая статистика / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 446 с.

227. Орлов, А. И. Искусственный интеллект: экспертные оценки / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 436 с.

228. Орлов, А. И. Искусственный интеллект: статистические методы анализа данных / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 843 с.

229. Орлов, А. И. Смена терминологии в развитии науки / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2022. — № 177. — С. 232–246.

230. Орлов, А. И. Устойчивые экономико-математические методы и модели : моногр. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 337 с.

231. Орлов, А. И. Системная нечёткая интервальная математика — основа инструментария математических методов исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2022. — Т. 88, № 7. — С. 5–7.

232. Орлов, А. И. Проблемы управления экологической безопасностью : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 224 с.

233. Орлов, А. И. О требованиях к статистическим методам анализа данных / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2022. — № 181. — С. 316–343.

234. Орлов, А. И. Контроллинг статистических методов / А. И. Орлов // Контроллинг. — 2022. — № 86. — С. 2–11.

235. Орлов, А. И. Обобщённая аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков на основе нечётких и интервальных исходных данных / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2023. — Т. 89, № 1. — С. 74–84.

236. Орлов, А. И. Искусственный интеллект, нейросети, большие данные и математические методы исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2023. — Т. 89, № 7. — С. 5–7.

237. Орлов, А. И. Статистический анализ выборок из бета-распределения / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2023. — № 187. — С. 184–206.

238. Орлов, А. И. Оценивание параметров гамма-распределения / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2023. — № 192. — С. 142–157.

239. Орлов, А. И. О требованиях к статистическим методам анализа данных (обобщающая статья) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2023. — Т. 89, № 11. — С. 98–106.

240. Орлов, А. И. Методы и инструменты менеджмента : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. — 403 с.

241. Орлов, А. И. О развитии математических и статистических компетенций кадров высокотехнологичных наукоёмких предприятий / А. И. Орлов // Кадры инновационного развития. — 2023. — № 1. — С. 9–14.

242. Орлов, А. И. Методологические вопросы теории нечёткости (обобщающая статья) / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2024. — Т. 90, № 5. — С. 69–78.

243. Орлов, А. И. Революция в математических методах исследования / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2024. — Т. 90, № 7. — С. 5–7.

244. Орлов, А. И. Эконометрика : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 525 с.

245. Орлов, А. И. Революция в математических методах исследования и искусственный интеллект / А. И. Орлов // Интеллектуальные технологии в эргономике и когнитивных науках : сб. матер. Всероссийской науч.-практ. онлайн-конф. с междунар. участием (Брянск, 4–6 июня 2024 г.). — Брянск : БГТУ, 2024. — С. 54–57.

246. Орлов, А. И. Шестьдесят лет в мире формул (1964–2023). Комментарии к списку научных и методических трудов / А. И. Орлов. — М. : Ин-т высоких статистических технологий и эконометрики. — 2024. — 528 с. — URL: <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=3711> (дата обращения: 23.10.2025).

247. Орлов, А. И. Основные идеи контроллинга статистических методов / А. И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. — 2025. — № 210. — С. 317–347.

248. Орлов, А. И. Оценивание параметров гамма-распределения / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2025. — Т. 91, № 1. — С. 79–88.

249. Орлов, А. И. Математические методы исследования: революция продолжается / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2025. — Т. 90, № 7. — С. 5–8.

250. Орлов, А. И. Научная революция в математических методах исследования и искусственный интеллект / А. И. Орлов // Эргодизайн. — 2025. — № 2 (28). — С. 160–170.

251. Орлов, А. И. Контроллинг организационно-экономических методов как новое научное направление в менеджменте / А. И. Орлов // Контроллинг в экономике, организации производства и управлении : сб. науч. тр. XIV Междунар. конгресса по контроллингу (Колмна, 24 мая 2025 г.) / под науч. ред. С. Г. Фалько. — М. : НП «Объединение контроллеров», 2025. — С. 142–147.

252. Орлов, А. И. Системная нечёткая интервальная математика (СНИМ) — перспективное направление теоретической и вычислительной математики / А. И. Орлов, Е. В. Луценко // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 91. — С. 255–308.

253. Орлов, А. И. О развитии системной нечёткой интервальной математики / А. И. Орлов, Е. В. Луценко // Философия математики: актуальные проблемы. Математика и реальность. Тезисы III Всероссийской науч. конф.; 27–28 сентября 2013 г. — М. : Центр стратегической конъюнктуры, 2013. — С. 190–193.

254. Орлов, А. И. Системная нечёткая интервальная математика : моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко. — Краснодар : КубГАУ, 2014. — 600 с.

255. Орлов, А. И. Анализ данных, информации и знаний в системной нечёткой интервальной математике : науч. моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко. — Краснодар : КубГАУ, 2022. — 405 с.

256. Орлов, А. И. Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга : моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко ; под науч. ред. С. Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — 600 с.

257. Орлов, А. И. Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента : моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко, В. И. Лойко ; под общ. ред. С. Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2016. — 600 с.

258. Методика. Проверка однородности двух выборок по критерию Смирнова / А. И. Орлов, Н. Г. Миронова, В. Н. Фомин, О. М. Черномордик. — М. : ВНИИСтандартизации, 1988. — 173 с.

259. Орлов, А. И. О методах принятия решений, основанных на использовании интуиции / А. И. Орлов, Л. А. Орлова // Научный журнал КубГАУ. — 2022. — № 179. — С. 178–196.

260. Орлов, А. И. Применение эконометрических методов при решении задач контроллинга / А. И. Орлов, Л. А. Орлова // Контроллинг. — 2003. — № 4 (8). — С. 50–54.

261. Орлов, А. И. Оценка остаточного члена порядка n^{-2} для функции распределения двухвыборочной статистики Смирнова / А. И. Орлов, И. В. Орловский // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. Межвузовский сб. науч. тр. — Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 1978. — Вып. 1. — С. 100–109.

262. 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.

263. Орлов, А. И. Методика дуальных шкал при экспертном оценивании параметров дерева промежуточных событий развития авиационного происшествия с учётом барьеров предотвращения и парирования / А. И. Орлов, Ю. Г. Савинов, А. Ю. Богданов // Научный вестник Моск. гос. техн. ун-та гражданской авиации. — 2014. — № 204 (6). — С. 32–38.

264. Орлов, А. И. Менеджмент в техносфере / А. И. Орлов, В. Н. Федосеев. — М. : Академия, 2003. — 384 с.

265. 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.

266. 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.

267. Орлов, А. И. Выявление отклонений в контроллинге (на примере мониторинга уровня безопасности полётов) / А. И. Орлов, В. Д. Шаров // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 95. — С. 184–203.

268. Орлов, А. И. Метод выявления отклонений в системе контроллинга (на примере мониторинга уровня безопасности полётов) / А. И. Орлов, В. Д. Шаров // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2014. — № 26 (263). — С. 54–64.

269. Остроградский, М. В. Об одном вопросе, касающемся вероятностей / М. В. Остроградский / Полное собрание трудов. — Киев : Изд-во Академии наук УССР, 1961. — Т. 3. — С. 215–237.

270. Павленков, М. Н. Контроллинг предприятия: теория, практика / М. Н. Павленков, И. М. Павленков, И. Н. Павленкова. — М. : Знание-М, 2023. — 428 с.

271. Перминов, В. Я. Философия и основания математики / В. Я. Перминов. — М. : URSS, 2001. — 320 с.

272. Перминов, В. Я. Развитие представлений о надёжности математического доказательства / В. Я. Перминов. — 2-е изд., стер. — М. : URSS, 2004. — 239 с.

273. Плошко, Б. Г. История статистики : учеб. пособие / Б. Г. Плошко, И. И. Елисеева. — М. : Финансы и статистика. 1990. — 295 с.

274. Понтрягин, Л. С. Жизнеописание Льва Семёновича Понтрягина, математика, составленное им самим / Л. С. Понтрягин. — М. : URSS, 2025. — 316 с.

275. Прикладная статистика // Учёные записки по статистике. — М. : Наука, 1983. — Т. 45. — 383 с.

276. Прохоров, Ю. В. Теория вероятностей. Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы / Ю. В. Прохоров, Ю. А. Розанов. — 3-е изд. — М. : Наука, 1987. — 400 с.

277. Профессора-невежды готовят себе на смену новых невежд. — URL: <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=548> (дата обращения: 23.10.2025).

278. Рекомендации. Прикладная статистика. Методы обработки данных. Основные требования и характеристики / А. И. Орлов, Н. Г. Миронова, В. Н. Фомин, А. Н. Черчинцев. — М. : ВНИИСтандартизации, 1987. — 62 с.

279. *Родин, А. В.* Исчисление задач А.Н. Колмогорова и гомотопическая теория типов / А. В. Родин // Вестник Перм. ун-та. Философия. Психология. Социология. — 2022. — Вып. 3. — С. 368–379.

280. *Роцин, А. В.* Методический подход к оценке эффективности результатов научно-технических программ / А. В. Роцин, И. П. Тихонов, С. В. Проничкин // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 21 (324). — С. 10–18.

281. *Светлов, В. А.* Философия математики: Основные программы обоснования математики XX столетия / В. А. Светлов. — М. : URSS, 2021. — 208 с.

282. *Семёнов, С. С.* Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения метода экспертных оценок / С. С. Семёнов. — М. : ЛЕНАНД, 2015. — 352 с.

283. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем / С. С. Семёнов, Е. М. Воронов, А. В. Полтавский, А. В. Крянев. — М. : ЛЕНАНД, 2016. — 520 с.

284. *Семёнов, С. С.* Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники / С. С. Семёнов, В. Н. Харчев, А. И. Иоффин. — М. : Радио и связь, 2004. — 552 с.

285. *Семёнов, С. С.* Оценка технического уровня систем наведения управляемых авиационных бомб / С. С. Семёнов, В. В. Щербинин. — М. : Машиностроение, 2015. — 326 с.

286. *Смирнов, Н. В.* О приближении плотностей распределения случайных величин / Н. В. Смирнов // Учёные записки МГПИ им. В. П. Потёмкина. — 1951. — Т. XVI, вып. 3. — С. 69–96.

287. *Смирнов, Н. В.* Теория вероятностей и математическая статистика. Избранные труды / Н. В. Смирнов. — М. : Наука, 1970. — 289 с.

288. *Смирнов, Н. В.* Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии / Н. В. Смирнов, Д. А. Белугин. — М. : Недра, 1969. — 380 с.

289. *Смирнов, Н. В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. — 3-е изд., стер. — М. : Наука, 1969. — 512 с.

290. Современные проблемы кибернетики (прикладная статистика). — М. : Знание, 1981. — 64 с.

291. Статистика и перестройка: Учёные записки по статистике. — М. : Наука, 1991. — Т. 55. — 280 с.
292. Статистические методы. — URL: <https://orlovs.pp.ru/forum/viewforum.php?f=1> (дата обращения: 23.10.2025).
293. Тимофеев, К. Что же такое «прикладная статистика»? / К. Тимофеев // Вестник статистики. — 1985. — № 10. — С. 66–67.
294. Типовые ошибки при вхождении в научную область «Прикладная статистика». — URL: <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=97> (дата обращения: 23.10.2025).
295. Требования и оценка реализуемости проектов создания изделий ракетно-космической техники / В. А. Волков, Г. О. Баев, А. И. Орлов, С. Г. Фалько // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 99. — С. 124–136.
296. Тутубалин, В. Н. Границы применимости (вероятностно-статистические методы и их возможности) / В. Н. Тутубалин. — М. : Знание, 1977. — 64 с.
297. Улам, С. Приключения математика / С. Улам. — Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 166 с.
298. Успенский, В. А. Апология математики / В. А. Успенский. — М. : URSS, 2017. — 622 с.
299. Устав Всесоюзной статистической ассоциации (ВСА). 1-й Пленум Правления ВСА // Вестник статистики. — 1991. — № 2. — С. 71–76.
300. Фалько, С. Г. Предмет контроллинга как самостоятельной научной дисциплины / С. Г. Фалько // Контроллинг. — 2005. — № 13. — С. 2–6.
301. Фалько, С. Г. Контроллинг для руководителей и специалистов / С. Г. Фалько. — М. : Финансы и статистика, 2024. — 271 с.
302. Фалько, С. Г. Контроллинг на предприятии / С. Г. Фалько, В. М. Носков. — М. : Общество «Знание» России, 1995. — 80 с.
303. Философия математики: актуальные проблемы. Математика и реальность. Тезисы III Всероссийской науч. конф., 27–28 сентября 2013 г. — М. : Центр стратегической конъюнктуры, 2013. — 270 с.
304. Философия математики в Москве / С. Л. Катречко, Е. В. Косилова, А. Н. Кричевец, В. А. Шапошников // Эпистемология и философия науки. — 2008. — Т. 15, № 1. — С. 187–192.
305. Хан, Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга : пер. с нем. / Д. Хан. — М. : Финансы и статистика, 1997. — 800 с.
306. Харди, Г. Г. Апология математика / Г. Г. Харди. — М. : URSS, 2025. — 128 с.

307. *Хаханян, В. Х.* Интуиционизм и формализм: различие и единство (сравнительный анализ) / В. Х. Хаханян // Вестник Моск. ун-та. Серия 7. Философия. — 2012. — № 5. — С. 57–69.

308. *Хмелевская, С. А.* К вопросу об определении понятия «научная революция» / С. А. Хмелевская // Социально-политические науки. — 2017. — № 6. — С. 7–10.

309. *Хрусталёв, Е. Ю.* Модельное обоснование инновационного развития наукоёмкого сектора российской экономики / Е. Ю. Хрусталёв, О. Е. Хрусталёв // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 9 (312). — С. 2–13.

310. *Хрусталёв, Е. Ю.* Когнитивное моделирование развития наукоёмкой промышленности (на примере оборонно-промышленного комплекса) / Е. Ю. Хрусталёв, О. Е. Хрусталёв // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 10 (313). — С. 2–10.

311. *Хрусталёв, С. А.* Математические методы оценки эффективности управленческих решений / С. А. Хрусталёв, А. И. Орлов, В. Д. Шаров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2013. — Т. 79, № 11. — С. 67–72.

312. *Цонев, В.* К дискуссии по вопросу: что же такое прикладная статистика / В. Цонев // Вестник статистики. — 1988. — № 2. — С. 67–68.

313. *Чехов, А. П.* Остров Сахалин / А. П. Чехов // Сочинения. — М. : Наука, 1978. — Т. 14–15. — 928 с.

314. *Шапошников, В. А.* Три парадигмы в философии математики / В. А. Шапошников // Эпистемология и философия науки. — 2008. — Т. 15, № 1. — С. 124–131.

315. *Шапошников, В. А.* Преодолеть Куна: о некоторых предпосылках рассмотрения компьютерной революции как революции в математике / В. А. Шапошников // Эпистемология и философия науки. — 2019. — Т. 56, № 3. — С. 169–185.

316. *Шапошников, В. А.* На пути к открытой математике: трансформация практики математического доказательства от индивидуальной к социодиффровой / В. А. Шапошников // Вестник Моск. ун-та. Серия 7. Философия. — 2019. — № 1. — С. 79–94.

317. *Шапошников, В. А.* Революции в математике: возвращаясь к старому спору. Ч. 1 / В. А. Шапошников // Философия науки и техники. — 2019. — Т. 24. — № 2. — С. 70–81.

318. *Шапошников, В. А.* Революции в математике: возвращаясь к старому спору. Ч. 2 / В. А. Шапошников // Философия науки и техники. — 2020. — Т. 25, № 1. — С. 5–17.

319. Шапошников, В. А. Признавал ли Кун революции в математике? / В. А. Шапошников // Вестник Моск. ун-та. Серия 7. Философия. — 2020. — № 3. — С. 19–37.

320. Шапошников, В. А. Миф о трёх кризисах в основаниях математики. Ч. 1 / В. А. Шапошников // Философия науки и техники. — 2021. — Т. 26, № 1. — С. 64–77.

321. Шапошников, В. А. Миф о трёх кризисах в основаниях математики. Ч. 2 / В. А. Шапошников // Философия науки и техники. — 2021. — Т. 26, № 2. — С. 81–95.

322. Шапошников, В. А. Кун, Лакатос и исторический поворот в философии математики / В. А. Шапошников // Эпистемология и философия науки. — 2022. — Т. 59, № 4. — С. 144–162.

323. Шафаревич, И. Р. Математическое мышление и природа / И. Р. Шафаревич // Математическое образование. — 1998. — № 2 (5). — С. 67–74.

324. Шафаревич, И. Р. О некоторых тенденциях развития математики / И. Р. Шафаревич // Математическое образование. — 2003. — № 2 (25). — С. 20–24.

325. Шейнин, О. Б. Статистика. Её история и суть / О. Б. Шейнин // Финансы и бизнес. — 2016. — № 4. — С. 104–118.

326. Шеремет, Н. О так называемой прикладной статистике / Н. Шеремет // Вестник статистики. — 1987. — № 2. — С. 67–71.

327. Эйлер, Л. Введение в анализ бесконечных / Л. Эйлер. — М. : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1961. — Т. 1. — 316 с.

328. Энциклопедия статистических терминов. Т. 1–8. Росстат, 2013. — URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/rosstat/stbook11/book.html (дата обращения: 23.10.2025).

329. Bostock, D. Philosophy of mathematics / D. Bostock. — Chichester, 2009. — 332 p.

330. Colyvan, M. An Introduction to the Philosophy of Mathematics / M. Colyvan. — Cambridge, 2012. — 224 p.

331. Kotz, S. Statistical Terminology — Russian Vs. English — in the Light of the Development of Statistics in the USSR / S. Kotz // The American Statistician. — 1965. — Vol. 19, № 3. — P. 16–22.

332. Kotz, S. Statistics in the USSR / S. Kotz // Survey. — 1965. — Vol. 57. — October. — P. 132–141.

333. Kotz, S., The Hausdorff Space and Applied Statistics: A View from USSR / S. Kotz, K. Smith // The American Statistician. — November 1988. — Vol. 42, № 4. — P. 241–244.

334. *Leng, M.* Mathematics and Reality / M. Leng. — Oxford, 2010. — 278 p.

335. *Orlov, A. I.* Basic requirements for statistical methods of data analysis / A. I. Orlov // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. — 2022. — № 181. — P. 316–343.

336. *Sheynin, O.* History of statistics / O. Sheynin. — Berlin : NG Verlag, 2012. — 221 p.

337. The teaching of statistics // Studies in mathematical education. — Paris, UNESCO, 1991. — Vol. 7. — 258 p.

338. *Weinberg, J. H.* Statistics: An Intuitive Approach / J. H. Weinberg, J. Schumaker. — Belmont : Brooks-Cole, 1969. — 504 p.

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 в научных исследованиях), кандидат физико-математических наук (1976 г. — по теории вероятностей и математической статистике).

Профессор кафедры «Экономика и организация производства» факультета «Инженерный бизнес и менеджмент» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, руководитель секции «Организационно-экономическое моделирование, эконометрика и статистика», директор Института высоких статистических технологий и эконометрики, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Экономико-математические методы в контроллинге».

Член редколлегии и редакционных советов журналов «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», «Контроллинг», «Инновации в менеджменте», «Экономика космоса», Политематического сетевого электронного научного журнала Кубанского государственного аграрного университета (Научного журнала КубГАУ), «Biocosmology — neo-Aristotelism», «Эргодизайн», «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 1300 научных и методических публикаций в России и за рубежом, в том числе более 70 книг. Один из наиболее цитируемых математиков и экономистов России.

Основные книги профессора А. И. Орлова

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

2. *Орлов, А. И.* Задачи оптимизации и нечёткие переменные / А. И. Орлов. — М. : Знание, 1980. — 64 с.

3. Анализ нечисловой информации (препринт) / Ю. Н. Тюрин, Б. Г. Литвак, А. И. Орлов, Г. А. Сатаров [и др.]. — М. : 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. — М. : Просвещение, 1977. — 288 с. (2-е изд., испр. и доп. — М. : Просвещение, 1984.). Пер. на казахский, литовский, молдавский, таджикский языки.

5. ГОСТ 11.011-83. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров гамма-распределения / А. И. Орлов, Н. Г. Миронова, А. М. Бендерский [и др.]. — М. : Изд-во стандартов, 1984. — 53 с. (Переиздание: М. : Изд-во стандартов, 1985. — 50 с.).

6. Рекомендации. Прикладная статистика. Методы обработки данных. Основные требования и характеристики / А. И. Орлов, Н. Г. Миронова, В. Н. Фомин, А. Н. Черчинцев. — М. : ВНИИСтандартизации, 1987. — 62 с.

7. *Орлов, А. И.* Пакет программ анализа данных «ППАНД» : учебное пособие / А. И. Орлов, И. Л. Легостаева, О. М. Черномор-

дик. — М. : Сотрудничающий центр Всемирной организации здравоохранения по профессиональной гигиене, 1990. — 93 с.

8. Орлов, А. И. О теоретических основах внеклассной работы по математике и опыте Вечерней математической школы при Московском математическом обществе / А. И. Орлов // Бюллетень № 2 Всесоюзного центра статистических методов и информатики. — М. : ВЦСМИ, 1991. — 48 с.

9. Математическое моделирование процессов налогообложения (подходы к проблеме) / А. И. Орлов, В. Г. Кольцов, Н. Ю. Иванова [и др.]. — М. : Изд-во ЦЭО Министерства общего и профессионального образования РФ, 1997. — 232 с.

10. Экология : учеб. пособие / А. И. Орлов, С. А. Боголюбов, Л. П. Поляков [и др.]. — М. : Знание, 1999. — 288 с.

11. Менеджмент : учеб. пособие / А. И. Орлов, С. А. Боголюбов, Ж. В. Прокофьева [и др.]. — М. : Знание, 2000. — 288 с.

12. Орлов, А. И. Управление качеством окружающей среды : учеб. / А. И. Орлов, С. А. Боголюбов. — М. : МГИЭМ(ту), 2000. — Т. 1. — 283 с.

13. Орлов, А. И. Системы экологического управления : учеб. / А. И. Орлов, С. А. Боголюбов. — М. : Европейский центр по качеству, 2002. — 224 с.

14. Орлов, А. И. Эконометрика : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Экзамен, 2002 (1-е изд.), 2003 (2-е изд.), 2004 (3-е изд.). — 576 с.

15. Управление промышленной и экологической безопасностью : учеб. пособие / А. И. Орлов, В. Н. Федосеев, В. Г. Ларионов, А. Ф. Козьяков. — М. : УРАО, 2002 (1-е изд.), 2003 (2-е изд.). — 220 с.

16. Орлов, А. И. Менеджмент в техносфере : учеб. пособие / А. И. Орлов, В. Н. Федосеев. — М. : Академия, 2003. — 384 с.

17. Орлов, А. И. Теория и методы разработки управленческих решений : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. : ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д : ИЦ «МарТ», 2005. — 496 с.

18. Орлов, А. И. Прикладная статистика : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Экзамен, 2006. — 672 с.

19. Орлов, А. И. Теория принятия решений : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Экзамен, 2006. — 576 с.

20. Проектирование интегрированных производственно-корпоративных структур: эффективность, организация, управление / А. И. Орлов, С. Н. Анисимов, А. А. Колобов [и др.] : под ред.

А. А. Колобова, А. И. Орлова. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 728 с.

21. *Орлов, А. И.* Оптимальные методы в экономике и управлении : учеб. пособие по курсу «Организационно-экономическое моделирование» / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 44 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. — М. : Экзамен, 2008. — 621 с.

23. *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое моделирование : учеб. : в 3 ч. / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — Ч. 1. Нечисловая статистика. — 542 с.

24. *Орлов, А. И.* Эконометрика : учеб. для вузов / А. И. Орлов. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 572 с.

25. *Орлов, А. И.* Менеджмент: организационно-экономическое моделирование : учеб. пособие для вузов / А. И. Орлов. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 475 с.

26. *Орлов, А. И.* Вероятность и прикладная статистика: основные факты : справ. / А. И. Орлов. — М. : КноРус, 2010. — 192 с.

27. *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений : учеб. / А. И. Орлов. — М. : КноРус, 2011. — 568 с.

28. *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое моделирование : учеб. : в 3 ч. / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — Ч. 2. Экспертные оценки. — 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. — Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2011. — 436 с.

30. *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое моделирование : учебник : в 3 ч. / А. И. Орлов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — Ч. 3. Статистические методы анализа данных. — 624 с.

31. *Орлов, А. И.* Проблемы управления экологической безопасностью. Итоги 20 лет научных исследований и преподавания /

А. И. Орлов. — Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2012. — 344 с.

32. *Орлов, А. И.* Системная нечёткая интервальная математика : моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко. — Краснодар : КубГАУ, 2014. — 600 с.

33. *Орлов, А. И.* Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга : моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко, В. И. Лойко ; под науч. ред. С. Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — 600 с.

34. *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента : моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко, В. И. Лойко ; под общ. ред. С. Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2016. — 600 с.

35. *Лойко, В. И.* Современные подходы в наукометрии : моногр. / В. И. Лойко, Е. В. Луценко, А. И. Орлов ; под науч. ред. С. Г. Фалько. — Краснодар : КубГАУ, 2017. — 532 с.

36. *Орлов, А. И.* Методы принятия управленческих решений : учеб. / А. И. Орлов. — М. : КноРус, 2018. — 286 с.

37. *Лойко, В. И.* Современная цифровая экономика / В. И. Лойко, Е. В. Луценко, А. И. Орлов. — Краснодар : КубГАУ, 2018. — 508 с.

38. *Лойко, В. И.* Высокие статистические технологии и системно-когнитивное моделирование в экологии : моногр. / В. И. Лойко, Е. В. Луценко, А. И. Орлов. — Краснодар : КубГАУ, 2019. — 258 с.

39. *Орлов, А. И.* Эконометрика : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. ; Саратов : Интернет-университет информационных технологий (ИНТУИТ) ; Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 676 с.

40. *Агаларов, З. С.* Эконометрика : учеб. / З. С. Агаларов, А. И. Орлов. — М. : Дашков и К°, 2021 (1-е изд.), 2023 (2-е изд.), 2024 (3-е изд.). — 380 с.

41. *Орлов, А. И.* Искусственный интеллект: нечисловая статистика : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 446 с.

42. *Орлов, А. И.* Искусственный интеллект: статистические методы анализа данных : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 843 с.

43. *Орлов, А. И.* Искусственный интеллект: экспертные оценки : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 436 с.

44. *Орлов, А. И.* Основы теории принятия решений : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 66 с.

45. Орлов, А. И. Прикладной статистический анализ : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 812 с.
46. Орлов, А. И. Проблемы управления экологической безопасностью : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 224 с.
47. Орлов, А. И. Теория принятия решений : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 826 с.
48. Орлов, А. И. Устойчивые экономико-математические методы и модели : моногр. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 337 с.
49. Орлов, А. И. Экспертные оценки : учеб. пособие / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 57 с.
50. Орлов, А. И. Анализ данных, информации и знаний в системной нечёткой интервальной математике : науч. моногр. / А. И. Орлов, Е. В. Луценко. — Краснодар : КубГАУ, 2022. — 405 с.
51. Орлов, А. И. Методы и инструменты менеджмента : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. — 403 с.
52. Орлов, А. И. Менеджмент: методы и инструменты : учеб. пособие для СПО / А. И. Орлов. — Саратов : Профобразование, 2023. — 383 с.
53. Орлов, А. И. Эконометрика : учеб. / А. И. Орлов. — М. : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 525 с.
54. Орлов, А. И. Шестьдесят лет в мире формул (1964–2023): Комментарии к списку научных и методических трудов / А. И. Орлов. — М. : Институт высоких статистических технологий и эконометрики МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024. — 524 с. — URL: <https://orlovs.pp.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=3711> (дата обращения: 23.10.2025).
55. Орлов, А. И. Новая парадигма экономической науки на основе солидарной цифровой экономики : моногр. / А. И. Орлов. — М. : Русайнс, 2024. — 164 с.

Описание научной деятельности и вклада в развитие науки и образования профессора А. И. Орлова

Орлов Александр Иванович в 1966 г. закончил физматшколу № 2 г. Москвы (с золотой медалью), в 1971 г. с отличием окончил Механико-математический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Работал в Центральном экономико-математическом институте АН СССР (1971–1978), Центральной научно-исследовательской лаборатории Четвёртого главного управления при Минздраве СССР (1978–1981), Всесоюзном научно-исследовательском институте стандартизации Госстандарта СССР (1981–1989), возглавлял созданный им Всесоюзный центр статистических методов и информатики (1989–1992).

В 1976 г. А. И. Орлов становится кандидатом физико-математических наук (по теории вероятностей и математической статистике), в 1992 г. — доктором технических наук (по применению математических методов в научных исследованиях — диссертация в форме научного доклада). С 1993 по 2007 гг. он — профессор Московского государственного института электроники и математики (технического университета). В 1995 г. ему присвоено учёное звание профессора (по кафедре математической экономики).

С 1997 г. и по настоящее время основное место работы А. И. Орлова — Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. Он — профессор кафедры экономики и организации производства факультета «Инженерный бизнес и менеджмент», по совместительству с 2017 по 2021 г. — профессор кафедры вычислительной математики и математической физики факультета «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н. Э. Баумана. Параллельно он работал и в других вузах и организациях, в том числе в Московском физико-техническом институте, Российской экономической академии им. Г. В. Плеханова, Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Московском государственном университете прикладной биотехнологии, Центральном научно-исследовательском институте машиностроения Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос». В 2009 г. А. И. Орлов стал доктором экономических наук (по математическим и инструментальным методам экономики).

Профессором А. И. Орловым создано новое направление в области математических методов исследования — статистика нечисловых данных. Он предложил способ введения эмпирических и теоретических средних, доказал законы больших чисел, нашёл асимптотиче-

ское поведение решений экстремальных статистических задач, предложил и изучил непараметрические оценки плотности распределения вероятностей, изучил асимптотическое распределение статистик интегрального типа. Им создана асимптотическая статистика интервальных данных. Он дал характеристику средних величин с помощью шкал измерения и указал способ сведения нечётких множеств к случайным. Им опубликована первая книга отечественного автора по теории нечёткости («Задачи оптимизации и нечёткие переменные», 1980).

А. И. Орлов предложил ряд новых методов в непараметрической статистике, касающихся оценивания скорости сходимости, проверки гипотез однородности и симметрии, метода наименьших квадратов и др. А также и в параметрической статистике (оценивание параметров гамма-распределения и бета-распределения, одношаговые оценки параметров и др.), в многомерном статистическом анализе (регрессионный анализ, теория классификации, снижение размерности), в теории временных рядов.

Профессор А. И. Орлов активно занимался прикладными исследованиями в технических науках, теории принятия решений, контроллинге, экономике, менеджменте, науковедении и других областях (в экологии, социологии и др.); разработал новую парадигму математических методов исследования и на её основе — системную нечёткую интервальную математику; предложил теорию устойчивости выводов в математических моделях, аддитивно-мультипликативную модель оценки рисков и др.; создал солидарную цифровую экономику, дающую основу новой парадигме экономической теории; развил современную теорию экспертных оценок.

Созданным и возглавляемым А. И. Орловым Всесоюзным центром статистических методов и информатики было разработано и внедрено более 30 программных продуктов по статистическим методам управления качеством. Он участвовал в государственных проектах по уничтожению химического оружия, оценке и прогнозированию инфляции, моделированию систем налогообложения, обеспечению безопасности полётов, в ракетно-космической области. А. И. Орлов являлся главным научным консультантом при разработке автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий (работа выполнена авиакомпанией «Волга — Днепр» при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218).

По данным Российского индекса научного цитирования профессор А. И. Орлов — один из самых цитируемых учёных России по математике и экономическим наукам, автор более 700 научных публикаций, в том числе более 50 книг.

Своими учителями А. И. Орлов считает академика АН УССР Б. В. Гнеденко и доктора технических наук, профессора В. В. Налимова, при этом он относит себя к отечественной научной школе в области теории вероятностей и математической статистики, созданной академиком А. Н. Колмогоровым.

Профессор А. И. Орлов разработал и внедрил в преподавание новаторские учебные курсы по прикладной статистике, эконометрике, теории принятия решений, организационно-экономическому моделированию, подготовил учебники по этим дисциплинам. В 2022–2024 гг. выпущены новые издания 12 его учебников и учебных пособий, подготовленных без соавторов. Написанные А. И. Орловым учебники широко цитируют и в научных публикациях. Так, по данным Академии Google книга «Теория принятия решений» процитирована более 1,5 тыс. раз, книга «Прикладная статистика» — более 1,4 тыс. раз, книга «Эконометрика» — более 1,25 тыс. раз.

Эти и другие учебники профессора А. И. Орлова имеют черты научных монографий, а потому они широко используются не только преподавателями и студентами, но и исследователями, что являет собой констатацию создания им отечественной научной школы в области организационно-экономического моделирования, эконометрики и статистики. Признанием энциклопедических знаний А. И. Орлова, заслуг в развитии науки, технологий, техники и образования может служить избрание его действительным членом Российской академии статистических методов; он избран академиком Международной академии прогнозирования, является членом Московского общества испытателей природы (учреждено в 1805 г.).

Активная жизненная позиция А. И. Орлова ярко проявляется в вопросах организации исследований и подготовке научных кадров, в его участии в научно-общественной жизни в различных сферах деятельности. Он работал в комиссиях и комитетах Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» и Всесоюзного совета научно-технических обществ; выступил одним из основных организаторов Всесоюзной статистической ассоциации, на её Учредительном съезде в октябре 1990 г. был избран вице-президентом, руководителем секции статистических методов.

Больше 40 лет А. И. Орлов работает в редколлегии журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов» и её секции «Мате-

математические методы исследования»; в этом журнале опубликовано более 100 его статей. Он является членом редколлегий ещё ряда научных журналов, таких как: «Контроллинг», «Инновации в менеджменте» (заместитель главного редактора), «Экономика космоса», «Социология: методология, методы, математическое моделирование», «Эргодизайн», периодического сборника научных трудов «Управление большими системами»; членом редакционных советов международного научного журнала “*Biocosmology — neo-Aristotelism*” и Политематического сетевого электронного научного журнала Кубанского государственного аграрного университета (научного журнала КубГАУ).

Большую работу профессор А. И. Орлов проводит как руководитель секции «Организационно-экономическое моделирование, эконометрика и статистика» кафедры экономики и организации производства, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Экономико-математические методы в контроллинге» МГТУ им. Н. Э. Баумана. Научный семинар этой лаборатории создан в 2007 г.; на его 217 заседаниях под председательством А. И. Орлова подробно обсуждались доклады по готовящимся докторским и кандидатским диссертациям. Десятки докладчиков в дальнейшем успешно защитились. Под научным руководством А. И. Орлова защищено 10 диссертаций.

Большую работу А. И. Орлов проводит в качестве оппонента и члена диссертационных советов; в настоящее время он — заместитель председателя диссертационного совета 24.2.331.24, а также член Учёного совета Научно-учебного комплекса «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Профессор А. И. Орлов всегда уделял большое внимание пропаганде научных и научно-технических знаний, просветительской деятельности, популяризации достижений науки, технологий и техники. С 1965 г. (с 10 класса средней школы) он вёл занятия со школьниками в Вечерней математической школе при Московском математическом обществе; с 1970 по 1977 гг. — директор этой школы. В 1966–1970 гг. А. И. Орлов работал в физматшколе № 2 (в настоящее время — лицей «Вторая школа»). Им опубликовано более 70 научно-популярных статей в журналах «Пионер» (раздел «Встречи с тремя неизвестными») и «Квант». Общий тираж итоговой книги «Внеклассная работа по математике в 6–8 классах» (в соавторстве с В. А. Гусевым и А. Л. Розенталем) — более 500 тыс. экз. В дальнейшие годы он — автор научно-популярных статей в журналах «Наука и жизнь», «Квантик», газете «Экономика и жизнь» и др.

В 2018 г. А. И. Орлов был объявлен победителем Всероссийского конкурса «Золотые Имена Высшей Школы» в номинации «За вклад в науку и высшее образование», организованного Межрегиональной общественной организацией «Лига Преподавателей Высшей Школы» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием гранта Президента Российской Федерации.

В 2024 г. А. И. Орлов стал лауреатом общенациональной премии «Профессор года».

Вся многолетняя яркая творческая деятельность профессора А. И. Орлова всегда была направлена на разработку новых направлений науки, технологии, техники и образования, внедрение их результатов в преподавание, развитие принципов «Образование через науку» и «Интеграция образования, науки и производства», усиление мотивации научной и инженерной деятельности, делу воспитания учащихся, молодёжи и студентов в духе уважительного отношения к профессии инженера, учёного и преподавателя.

На официальном сайте университета профессор А. И. Орлов заслуженно назван выдающимся учёным.

*Руководитель Научно-учебного комплекса
и декан факультета «Инженерный бизнес и менеджмент»
Московского государственного технического университета
им. Н. Э. Баумана, доктор технических наук,
доктор экономических наук, профессор
И. Н. Омельченко*

16 октября 2024 г.

Александр Иванович ОРЛОВ

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ:
НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ
НА ОСНОВЕ НОВОЙ ПАРАДИГМЫ**
МОНОГРАФИЯ

Зав. редакцией
инженерно-технической литературы *И. В. Денисюк*
Подготовка макета *О. О. Николаева*
Корректор *Е. П. Филатова*
Выпускающий _____

ЛР №065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
196105, Санкт-Петербург, пр-кт Ю. Гагарина, д. 1, лит. А.
Тел./факс: (812) 336-25-09, 412-92-72.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать __. __. __.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108 1/32.
Печать офсетная/цифровая. Усл. п. л. 10,92. Тираж 500 экз.

Заказ № _____.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета
в АО «Т8 Издательские Технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр-кт, д. 42, к. 5.

ПРИГЛАШАЕМ АВТОРОВ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

Если вы заинтересованы в выпуске собственных учебников и учебных пособий и у вас есть книги, которые вы можете предложить к изданию, мы готовы принять их к рассмотрению

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЛАНЬ»

Издает учебную литературу для высшего и среднего профессионального образования по всем отраслям знаний с 1993 года и берет на себя все расходы по ее выпуску.

ЧТО ПОЛУЧАЕТ АВТОР

- Лицензионный договор и гарантии издания книги на современном качественном уровне с последующей защитой от незаконного использования;
- электронную версию книги, размещенную в ЭБС Лань, ей пользуется большинство образовательных учреждений России;
- авторский гонорар в виде процента от дохода, полученного от продажи электронной и печатной версий книги;
- бесплатные авторские экземпляры после выхода книги и при каждом ее переиздании;
- скидку 20% в интернет-магазине издательства на любые книги Лани и скидку 15% для своих студентов и коллег.

ДЛЯ СОТРУДНИЧЕСТВА

Присылайте ваши заявки и материалы на почту lan@lanbook.ru или обращайтесь к руководителю соответствующей редакции, контакты указаны на сайте издательства (lanbook.com) в разделе «Издательство — Редакции».



ГДЕ КУПИТЬ

Для заказа книг обратитесь в любую из торговых компаний Издательского Дома «Лань»

ДЛЯ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

по России и зарубежью

тел.: (812) 412-85-78, 412-14-45
email: trade@lanbook.ru

www.lanbook.com
пункт меню «Где купить»
раздел «Прайс-лист, реквизиты»

в Москве и Московской области

тел.: (499) 350-62-10, (495) 252-79-20
email: lanpress@lanbook.ru

в Краснодаре и Краснодарском крае

тел.: (861) 274-10-35
email: lankrd98@mail.ru

ДЛЯ РОЗНИЧНЫХ ПОКУПАТЕЛЕЙ

Наши книги можно приобрести:

интернет-магазин издательства «Лань»

lanbook.com

с доставкой Почтой России и СДЭК

магазин электронных книг Global F5

globalf5.com

Литрес

www.litres.ru

Озон

www.ozon.ru

Wildberries

www.wildberries.ru