Ю. И. РЫЖИКОВ

РАБОТА НАД ДИССЕРТАЦИЕЙ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

3-е издание

- ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕНОМУ И К ДИССЕРТАЦИИ
- ПСИХОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ
- ЯЗЫК И СТИЛЬ ДИССЕРТАЦИИ
- ПОДГОТОВКА РУКОПИСИ В СИСТЕМЕ LATEX
- ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВООРУЖЕНИЕ ДИССЕРТАНТА: ФОРМАЛЬНАЯ ЛОГИКА, ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ
- ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ

bhv®

Ю. И. Рыжиков

РАБОТА НАД ДИССЕРТАЦИЕЙ
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

3-е издание

Издание третье,
исправленное и дополненное

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2012

УДК 001
ББК 30
Р94

Рыжиков Ю. И.

Р94 Работа над диссертацией по техническим наукам,
3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 512 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-0869-8

Книга представляет собой свод методических рекомендаций по написанию и оформлению диссертаций. В ней приведены требования к ученым и диссертациям; даны определения базовых понятий науковедения; описана методика постановки задачи, сбора материала, написания глав диссертации, подготовки к защите. Дан обзор теоретического вооружения «технического» ученого (логика, прикладная математика, программирование) и его технологической оснастки (пакеты математических программ, система подготовки математических рукописей LaTeX, Visio). Большое внимание уделяется литературной отделке рукописи, приводятся многочисленные примеры стилистических погрешностей и рекомендации по их устранению.

В третьем издании обновлен исторический контекст и учтены новейшие требования ВАК к оформлению диссертационных дел.

Для аспирантов, докторантов и соискателей ученых степеней, студентов технических вузов и преподавателей

УДК 001
ББК 30

Группа подготовки издания:

Главный редактор	*Екатерина Кондукова*
Зам. главного редактора	*Татьяна Лапина*
Зав. редакцией	*Елена Васильева*
Компьютерная верстка	*Юрия Рыжикова*
Корректор	*Людмила Минина*
Дизайн обложки	*Марины Дамбиевой*

Рецензент: *Р. М. Юсупов*, член.-корр. РАН, генерал-майор,
директор Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации

Подписано в печать 30.04.12.
Формат 70×100 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 41,28.
Тираж 1000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Первая Академическая типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28

ISBN 978-5-9775-0869-8

© Рыжиков Ю. И., 2012

Все, что создало человечество, оно создало благодаря Науке. И если уж суждено нашей стране быть великой державой, то она ею будет не благодаря ядерному оружию, не благодаря вере в Бога или президента, или в западные инвестиции, а благодаря труду ее народа, вере в знание, в науку, благодаря сохранению и развитию научного потенциала и образования.

Ж. И. Алферов

Оглавление

Предисловие **11**

От автора **13**

1 Аттестация научных кадров **20**
1.1. Наука и общество . . . 20
1.2. Подготовка научно-педагогических кадров . . . 25
1.2.1. Требования к ученому . . . 27
1.2.2. Психологические типы . . . 29
1.2.3. Отбор в науку . . . 33
1.2.4. Обучение научному творчеству . . . 36
1.3. Диссертации и требования к ним . . . 39
1.3.1. История вопроса . . . 39
1.3.2. Общие требования . . . 40
1.3.3. Докторские диссертации . . . 42
1.3.4. Кандидатские диссертации . . . 43
1.3.5. Диссертация в форме доклада . . . 44
1.3.6. Современные тенденции . . . 45
1.4. Общенаучные понятия . . . 47
1.4.1. Определение науки . . . 47
1.4.2. Религия, философия, наука . . . 50
1.4.3. Современная наука . . . 54
1.4.4. Критерии научности . . . 56
1.4.5. Общенаучные термины . . . 58
1.5. Результаты . . . 74
1.5.1. Научный результат . . . 74
1.5.2. Научная значимость . . . 76
1.5.3. Достоверность . . . 77
1.5.4. Творческая новизна . . . 78
1.5.5. Практические результаты . . . 79

2 Психология научной работы **81**
2.1. Специфика научной деятельности . . . 81
2.2. Мотивация . . . 84

2.3. Обращение к докторантам . . . 90
2.4. Ученик, Учитель, коллектив . . . 94
2.5. Работа в коллективе . . . 101
2.5.1. Специфика коллективной работы . . . 101
2.5.2. «Болезни» коллектива . . . 104
2.5.3. Обсуждение результатов . . . 105
2.6. Логика и интуиция . . . 107
2.6.1. Психофизиологические основы . . . 107
2.6.2. Интеллект . . . 109
2.6.3. Образное мышление . . . 112
2.6.4. Подсознание . . . 114
2.6.5. Интуиция и математическое открытие . . . 115
2.6.6. Эстетика как критерий истины . . . 121
2.6.7. Математика и музыка . . . 126
2.6.8. Эстетика программирования и оформления работы . . . 128
2.6.9. Тренировка интуиции . . . 130
2.7. Этика ученого . . . 133
2.7.1. Общие соображения . . . 133
2.7.2. Ученый и объект познания . . . 134
2.7.3. Ученый и коллеги . . . 135
2.7.4. Ученый и общество . . . 139

3 Организация работы 140
3.1. Рабочее место . . . 140
3.2. Режим дня . . . 142
3.3. Направление, проблема, цель . . . 144
3.4. Работа с литературой . . . 150
3.4.1. Поиск . . . 151
3.4.2. Справочные издания . . . 153
3.4.3. Новейший сервис . . . 153
3.4.4. Личные каталоги . . . 154
3.4.5. Объекты и цели чтения . . . 154
3.4.6. Методика чтения . . . 156
3.4.7. Накопление тезауруса . . . 158
3.4.8. Иностранные языки . . . 161
3.5. Перевод на английский . . . 162
3.6. Семинары и конференции . . . 165
3.6.1. Семинарское общение . . . 165
3.6.2. Подготовка презентаций . . . 169
3.6.3. Поведение на семинаре . . . 170
3.6.4. Роль педагогического опыта . . . 174
3.7. Интернет . . . 175
3.8. Тема и цели диссертации . . . 180
3.9. Планирование работы над диссертацией . . . 183
3.10. Типовой план диссертации . . . 189

4 Выполнение работы 190
4.1. Принципы научной разработки . . . 190
4.2. Физический эксперимент . . . 199
4.2.1. Виды и содержание эксперимента . . . 201
4.2.2. Методика эксперимента . . . 202
4.2.3. Планирование экспериментов . . . 203
4.2.4. Техническое оснащение . . . 208
4.2.5. Средства измерения . . . 209
4.2.6. Проведение эксперимента . . . 210
4.3. Математический эксперимент . . . 210
4.3.1. Постановка задачи . . . 211
4.3.2. Классификация математических моделей . . . 216
4.3.3. Прикладное программирование . . . 219
4.3.4. Тестирование программной системы . . . 220
4.4. Написание основных глав . . . 224
4.4.1. Общие рекомендации . . . 224
4.4.2. Стандартные требования к оформлению . . . 226
4.4.3. Содержание основных глав . . . 227
4.4.4. Структуризация текста . . . 229
4.4.5. Абзацы . . . 232
4.4.6. Перечни . . . 232
4.4.7. Авторство . . . 233
4.4.8. Диссертация и ее предшественники . . . 234
4.4.9. Терминология . . . 235
4.4.10. Формулировки . . . 236
4.4.11. Математические зависимости . . . 240
4.4.12. Размерности и числовые данные . . . 241
4.4.13. Цитирование . . . 243
4.4.14. Сокращения . . . 245
4.4.15. Таблицы и рисунки . . . 246
4.5. Вспомогательные разделы . . . 246
4.5.1. Выводы и Заключение . . . 246
4.5.2. Введение . . . 248
4.5.3. Список литературы . . . 250
4.5.4. Приложения . . . 251
4.6. Работа над изобретениями . . . 252

5 Язык и стиль диссертации 256
5.1. Литературные требования . . . 256
5.2. Грамотность . . . 259
5.3. Стиль . . . 262
5.4. Математика и поэзия . . . 273
5.5. Редактирование рукописи . . . 276
5.6. Как нельзя писать книги . . . 278

6 Набор рукописи 284
6.1. Проблема набора . . . 284
6.2. Введение в LaTeX . . . 286
6.2.1. Структура LaTeX-программы . . . 288
6.2.2. Набор текста . . . 289
6.2.3. Процесс сборки . . . 291
6.3. Компиляция, отладка, распечатка . . . 292
6.3.1. Запуск компилятора . . . 292
6.3.2. Диагностика компилятора . . . 292
6.3.3. Действия автора при отладке . . . 293
6.4. Математический набор . . . 293
6.4.1. Моды и шрифты . . . 293
6.4.2. Основные математические обозначения . . . 294
6.4.3. Простейшие формулы . . . 295
6.4.4. Окружения для формул . . . 297
6.4.5. Макросредства набора . . . 298
6.5. Таблицы . . . 299
6.6. «Графические» проблемы . . . 301
6.6.1. Средства рисования . . . 301
6.6.2. Средства вставки . . . 301
6.6.3. Плавающие объекты . . . 302
6.7. Обзор LaTeX 2_ε . . . 302
6.7.1. Общая структура . . . 302
6.7.2. Стандартные классы . . . 303
6.7.3. Стандартные пакеты . . . 304
6.7.4. Дополнительное матобеспечение . . . 304
6.8. Введение в MiKTeX . . . 305
6.8.1. Состав и возможности . . . 305
6.8.2. Редактор WinEdt . . . 306
6.8.3. Превьюер YAP . . . 308
6.8.4. Набор текста . . . 308
6.8.5. Набор математики . . . 309
6.8.6. Включение рисунков . . . 309
6.8.7. Компиляция и отладка документа . . . 310
6.9. TeXMaker . . . 310
6.10. Перевод LaTeX 2_ε $\longrightarrow$ Word . . . 311
6.11. Gnuplot . . . 312
6.11.1. Быстрое введение . . . 312
6.11.2. Вывод кривых . . . 316
6.11.3. Функции . . . 317
6.11.4. Линии и символы . . . 318
6.11.5. Файлы данных . . . 320
6.11.6. Оформление графика . . . 320
6.12. Visio — инструмент для схем . . . 322
6.12.1. Общая характеристика . . . 322
6.12.2. Меню и панель инструментов . . . 324

6.12.3. Начало работы . . . 327
6.12.4. Выбор трафарета . . . 328
6.12.5. Выполнение схем . . . 329
6.12.6. Редактирование фигур . . . 332
6.12.7. Редактирование схем . . . 334
6.12.8. Экспорт и импорт файлов . . . 335

7 Инструментарий теоретика 336
7.1. Формальная логика . . . 336
7.1.1. Требования к правильным рассуждениям . . . 337
7.1.2. Дедуктивные рассуждения . . . 342
7.1.3. Индуктивные рассуждения . . . 347
7.1.4. Аналогии . . . 349
7.1.5. Аргументация и опровержение мнений . . . 350
7.2. Математические проблемы . . . 352
7.2.1. Особенности прикладной математики . . . 352
7.2.2. Влияние ограниченности разрядной сетки . . . 354
7.2.3. Аппроксимации функций . . . 354
7.2.4. Вычисление определенных интегралов . . . 355
7.2.5. Задачи линейной алгебры . . . 356
7.2.6. Решение нелинейных уравнений . . . 357
7.2.7. Проблема минимизации . . . 357
7.2.8. Дифференциальные уравнения . . . 357
7.3. Вероятности и математическая статистика . . . 358
7.3.1. Базовые понятия . . . 359
7.3.2. Выборка и ее представления . . . 362
7.3.3. Основные задачи математической статистики . . . 363
7.3.4. Временные ряды . . . 365
7.3.5. О пакетах статистических программ . . . 365
7.4. Задачи исследования операций . . . 366
7.5. Элементы теории игр и статистических решений . . . 368
7.5.1. Основные понятия и определения теории прямоугольных игр . 369
7.5.2. Верхняя и нижняя цена игры. Седловой элемент. . . . 370
7.5.3. Смешанные стратегии . . . 371
7.5.4. Задачи теории статистических решений . . . 372
7.5.5. Многокритериальная оптимизация . . . 376
7.6. Имитационное моделирование . . . 377
7.6.1. Идея метода . . . 377
7.6.2. Понятие о методах понижения дисперсии . . . 381
7.6.3. Языки моделирования . . . 382
7.6.4. Понятие о GPSS . . . 384
7.6.5. Имитация в диссертации . . . 391
7.7. Универсальные математические пакеты . . . 392
7.7.1. Типовые возможности пакета . . . 393
7.7.2. Управление работой пакета . . . 396
7.7.3. Предварительное сопоставление . . . 397

7.7.4. Интеллектуальные решатели . . . 398
7.7.5. Сравнительное тестирование пакетов . . . 399
7.7.6. Maxima . . . 408
7.7.7. Дополнительные примеры многокомпонентного оценивания . . . 409
7.7.8. Технология создания лучевых диаграмм . . . 410
7.8. Языки программирования . . . 411
7.8.1. Необходимость программирования . . . 411
7.8.2. Многоязычие . . . 412
7.8.3. Проблемы программирования . . . 412
7.8.4. Свойства современных языков программирования . . . 413
7.8.5. Объектно-ориентированное программирование . . . 418
7.8.6. Требования к языкам . . . 420
7.8.7. Технологии производства программ . . . 422
7.8.8. Языки прикладного программирования . . . 423
7.8.9. Паскаль . . . 423
7.8.10. Язык C . . . 423
7.8.11. Фортран . . . 425
7.9. Логическое программирование . . . 430

8 На финишной прямой 432
8.1. Заключение совета . . . 432
8.2. Публикации . . . 435
8.3. Расширенный семинар . . . 437
8.4. Написание автореферата . . . 442
8.5. Выездные семинары . . . 444
8.6. Подготовка защиты . . . 444
8.6.1. Документы . . . 445
8.6.2. Ответы на замечания . . . 446
8.6.3. Организация защиты . . . 447
8.7. Последняя репетиция . . . 447
8.8. Защита . . . 448
8.9. Трудности . . . 451
8.10. После защиты . . . 453

9 Научная автобиография 455
9.1. Школьные годы . . . 456
9.2. Военно-морское училище . . . 457
9.3. Научно-исследовательский институт . . . 459
9.4. Аспирантура . . . 463
9.5. Докторская диссертация . . . 467
9.6. Свободный поиск . . . 468
9.6.1. Стартовые условия . . . 468
9.6.2. Законы сохранения . . . 469
9.6.3. Многочлены Лагерра . . . 472
9.6.4. Итерационный расчет фазовых систем . . . 473
9.6.5. Матрично-геометрическая прогрессия . . . 476

9.6.6. Гиперэкспоненциальная аппроксимация 477
9.6.7. Сети обслуживания 479
9.6.8. Временные характеристики систем обслуживания 481
9.7. Новая жизнь 484
9.8. Виток спирали 486
9.9. Информатика, науковедение, жизнь 490
9.10. Резюме 492

Литература **495**

Предисловие

Одна из самых острых проблем современной российской науки и педагогики — катастрофическая убыль «остепененных» кадров в области естественных и технических наук. Конкурсы в аспирантуру по этим направлениям упали, а принятые в аспирантуру (адъюнктуру) молодые люди по ряду объективных и субъективных причин редко представляют диссертации в срок. Одна из этих причин состоит в том, что мучительный процесс написания диссертационных работ *не имеет достаточной методической поддержки*. Существующие пособия для соискателей ученых степеней, подвергнутые справедливой критике во введении к рецензируемой книге, содержат минимум полезной информации и излагают почти исключительно порядок *оформления* готовой диссертации и сопутствующих документов. Книга концентрирует опыт члена диссертационных советов с сорокалетним стажем, заслуженного деятеля науки РФ Ю. И. Рыжикова и удачно заполняет указанный пробел.

Книга содержит весьма полезный материал, необходимый молодым (и не только молодым) соискателям ученых степеней для мотивации научно-педагогической карьеры, выбора направления и темы исследований, подбора литературы и математического аппарата, технологического инструментария исследователя, литературного оформления рукописи, представления полученных результатов научной общественности. В отличие от авторов большинства науковедческих работ, Ю. И. Рыжиков при обсуждении перечисленных вопросов опирается на *личный* опыт. Он:

- 47 лет преподает программирование и является автором разработки, включенной в Государственный фонд алгоритмов и программ;
- выпустил два учебника по современному Фортрану, нетривиальный учебник по информатике (изд-во «КОРОНА принт») и учебник «Вычислительные методы», сочетающий множество классических и новейших алгоритмов с примерами их программной реализации («БХВ-Петербург», 2007 г.);

- является специалистом мирового уровня в области управления запасами и численных методов теории очередей («Управление запасами» — изд-во «Наука», переведена в Германии; «Теория очередей и управление запасами» — изд-во «Питер»);
- внес значительный вклад в технологии моделирования (учебник изд-ва «КОРОНА принт»), является членом правления Национального общества имитационного моделирования.

Все это дает Ю. И. Рыжикову моральное право высказываться по обсуждаемому комплексу проблем и делает его советы и предложения заслуживающими доверия и широкого использования. Этот вывод подтверждается при ознакомлении с текстом книги. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН может гордиться тем, что Ю. И. Рыжиков с недавних пор является членом нашего коллектива.

Методические советы автора помогут привить научной молодежи необходимые ученому качества творческой одержимости, добросовестности, скромности, эстетического восприятия научных и общечеловеческих ценностей. Его предложения и советы убедительно иллюстрируются приведенной научной автобиографией, а сама книга является образцом реализации требований к научной публикации. Она должна стать настольной как для соискателей ученых степеней, так и для их научных руководителей.

Раздел книги, посвященный стилю написания научных работ, содержит поучительные примеры типичных дефектов изложения и способов борьбы с ними. Она явится ценным подспорьем при обучении студентов русскому языку по новым учебным планам, а также при изучении раздела «Методология научных исследований» в курсе философии.

Книга исподволь формирует завораживающее представление о круге интересов и духовном мире ученого. Она содержит множество нетривиальных сведений и колоритных фактов, включает впечатляющие цитаты из самых неожиданных авторов, написана сочным и выразительным языком, изобилует юмором и читается как роман. Все это должно произвести впечатление на учащуюся молодежь. Можно надеяться, что заметная часть прочитавших ее захочет уподобиться автору книги, как некогда капитан-лейтенант Ю. И. Рыжиков — вице-адмиралу Ю. С. Яковлеву (см. с. 461), и выберет путь служения науке.

Директор Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации
член-корреспондент РАН *Р. М. Юсупов*

От автора

«Высшим благом среди всех зовут знание: его не отнять, оно неоценимо, оно никогда не иссякает» (древнеиндийский афоризм). Автор книги приветствует ступивших на «каменистые тропы науки» и надеется быть им полезным.

Важнейшей целью автора являлась мотивация прихода молодежи в оскудевшую кадрами науку. Мы старались передать свою убежденность в светлом (отдаленном) будущем науки, укрепить мотивацию работы в ней, описать необходимое по нынешним временам инструментальное оснащение «технического» ученого, поделиться *собственным* опытом.

К настоящему времени выпущено немало посвященных проблемам соискателей ученых степеней книг (см. список литературы), которые можно разделить на две категории: основы работы в науке и более специализированные пособия для соискателей ученых степеней. Первые адресованы главным образом студентам, перегружены общими словами и элементарными сведениями, часто содержат ошибки при выходе авторов за пределы личной компетенции. Вторые основное внимание уделяют *оформлению документации* — проблеме безусловно важной и требующей больших трудозатрат соискателя, но полностью регламентированной общедоступным Положением ВАК [174][1], актуальной лишь на заключительном году работы соискателя и легко решаемой с помощью ученого секретаря совета.

Однако научная работа является *творческим* процессом, причем каждая научная специальность имеет свои особенности. Научный работник не может реализовать свой замысел, если он не овладел знанием и умением, техникой своего дела, технологией творчества. Соискателю прежде всего необходимы конкретные советы методического характера по *разработке и написанию диссертации*, которым в этих книгах уделяется гораздо меньшее внимание. Например, в книге Ф. А. Кузина [117],

[1] При ссылках на [174] подразумевается его корректировка материалами последующих Бюллетеней ВАК.

по заявлению ее автора, «диссертация рассматривается с позиций книговедческой науки как особый вид научного произведения», и советы диссертантам носят, мягко выражаясь, общий характер: «В содержании такой работы отражаются сущность в явлении, закономерность в случайности, общее в единичном, внутреннее во внешнем» — с. 9. Значительная часть подобных книг написана на уровне «философии науки», о практической пользе которой могут быть разные мнения. К примеру, вряд ли поможет соискателю определение научной задачи (НЗ) в форме

НЗ <=> Ц+У+Про+Пре,

где Ц — цель; У — условия; Про — процедура; Пре — преобразование условий в результат [22, с. 134]. Пособие Б. А. Райзберга [188] ровно наполовину состоит из руководящих документов, а содержащиеся в нем методические рекомендации сводятся к шкале подарков на с. 62–63 (профессору — выдержанный коньяк, академику — антиквариат), вненаучному общению руководителя с аспирантками и тактике сдачи экзамена по философии.

Содержание *этой книги* полностью соответствует ее названию — *работе над диссертацией* — и, кроме того, затрагивает творческие элементы подготовки к защите. В ней даются определения основных категорий науки, обсуждаются психологические особенности людей науки и работы в ней, организация такой работы, средства теоретических исследований (в частности, обзор отраслей прикладной математики и формальной логики); кратко описаны инструменты автоматического перевода текстов и выполнения расчетов (языки программирования численных задач, математические пакеты), построения графиков (*Gnuplot*) и вычерчивания схем (*Visio*); набора рукописей с большим количеством формул (LaTeX). Большое внимание уделяется литературному стилю и точности формулировок. Изложение в этой части иллюстрируется примерами совершенно фантастических несообразностей, взятых из реальных диссертаций и книг последних лет. Даются рекомендации по работе соискателя «на финишной прямой», которая должна выстраиваться вокруг проекта заключения диссертационного совета. Последняя глава подтверждает состоятельность данных ранее рекомендаций примерами из научной биографии автора.

В книге широко использованы все *конструктивные* сведения из перечисленной в списке литературы по науковедению, а также цитируемые в ней высказывания классиков естествознания и мировой культуры. Сведения, сообщаемые по логике, прикладной математике, информаци-

онным технологиям, нейропсихологии и т. п., не являются ни исчерпывающими, ни даже достаточными: они должны лишь помочь *осознать* возникающие проблемы и дать начальную ориентацию в них. То же относится и к списку литературы.

Ссылки во всех случаях делаются на источники заимствования без утомительных «цитируется по...». Вся «конкретика» связана с научной и педагогической специализацией автора (прикладная математика и информатика), отраженной в списке его публикаций. Длина и разнообразие этого списка должны показать, что содержание книги опирается на достаточный педагогический, научный и литературный опыт автора.

Книга непосредственно адресована соискателям ученых степеней по техническим наукам, в том числе докторантам. Также ее могут использовать студенты старших курсов и будущие магистры при написании курсовых, дипломных и квалификационных работ. Возможны полезные аналогии и для диссертаций иной направленности. Специфические проблемы медицинских вузов обсуждаются в [173], где дается тесная привязка к конкретному вузу — вплоть до перечня предметных комиссий с указанием фамилий их председателей и секретарей. Для соискателей степеней по юриспруденции сошлемся на [246].

Книга представляется исключительно полезной для *научных руководителей* диссертантов. Вряд ли они найдут там много принципиально нового для себя, но зато будут избавлены от необходимости объяснять *каждому аспиранту в отдельности*, что, собственно, от него требуется; что считать научным результатом; чем можно подтвердить достоверность последнего; как работать над литературой и составлять компиляции; в какой программной среде лучше считать, а в какой — строить графики; как вести себя на семинаре; как дóлжно и как нельзя излагать научные результаты.

Для облегчения стиля изложение непосредственно адресовано аспиранту вуза, но в равной степени относится и к другим категориям военных и гражданских соискателей и иным научным учреждениям с очевидной заменой терминов. В книгу включены примеры типичных ошибок при написании текста, заимствованные из реальных книг и диссертаций последних лет. Их авторам мы приносим извинения и просим считать эти примеры дополнительной апробацией (может быть, даже внедрением) диссертаций и подтверждением практической полезности таковых — хотя бы в целях обучения новых поколений исследователей.

Все приводимые рекомендации прошли многолетнюю обкатку и не будут лишними даже для соискателей ученых степеней по другим наукам. Мы рассчитываем и на внимание соискателей *докторской* степени — чем выше лезешь, тем больнее падать! К сожалению, слишком многие из них нуждаются в серьезной методической помощи.

Обилие и содержание цитат из академиков и классиков естествознания должны убедить читателей в том, что требования к соискателям ученых степеней, в сущности, традиционны, *едины* и отражают не только личную позицию автора. Главная цель их воспроизведения здесь — способствовать их восприятию благодаря нетрадиционности аргументации, неожиданности и солидности авторитетов, исключительным литературным достоинствам цитат. Была учтена и рекомендация Б. Паскаля [137, с. 64]: «Предмет математики настолько серьезен, что нельзя упускать случай сделать его немного занимательным».

Автор уверен в полезности приведенных материалов для преподавания и изучения философии, методики научных исследований и недавно введенного в вузах курса русского языка.

Прежде всего отметим, что содержание «Работы над диссертацией» в значительной мере перекликается с общей для многих специальностей программой курса *философии* по таким вопросам, как:

- диалектика; детерминизм и индетерминизм, динамические и статистические закономерности, научные, философские и религиозные картины мира;
- смысл человеческого бытия, нравственные ценности, представление о совершенном человеке в различных культурах, эстетические ценности и их роль в человеческой жизни;
- сознание и познание, творчество, практика; вера и знание, понимание и объяснение, рациональное и иррациональное в познавательной деятельности, проблема истины;
- действительность, мышление, логика и язык;
- научное и вненаучное знание, критерии научности, структура научного познания, его методы и формы; рост научного знания, научные революции и смены типов рациональности, наука и техника.

От выпускников *всех* инженерных специальностей требуется, чтобы они:

- имели понятие о принципах симметрии и законах сохранения, о математических моделях как средствах формального описания и анализа процессов и явлений;
- владели культурой мышления, знали его общие законы, были способны в письменной и устной речи правильно (логично) оформить его результаты;
- умели на научной основе организовать свой труд, владели современными информационными технологиями в сфере своей профессиональной деятельности;
- имели представление о совокупности современных языков программирования, их областях применения, особенностях и тенденциях развития;
- правильно выбирали и применяли средства программирования для эффективной реализации программных проектов;
- умели строить и использовать модели для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ.

Не только студенты, но и значительная часть преподавателей философии имеют об этих проблемах весьма смутные понятия.

Для всех специальностей безусловно необходимо умение *работать с книгой* и другими источниками информации. Выпускник:

- изучает специальную литературу и другую научно-техническую информацию;
- осуществляет сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации по теме (заданию);
- подготавливает информационные обзоры, а также рецензии, отзывы и заключения на техническую документацию.

Все эти вопросы предметно и конкретно рассмотрены в данной книге.

Особого внимания заслуживает проекция книги на дисциплину федерального цикла «Русский язык и культура речи». Приведем взятое

из стандарта содержание этой дисциплины, выделив курсивом вопросы, затрагиваемые в «Работе над диссертацией»:

«*Стили современного русского литературного языка, языковая норма*, ее роль в становлении и функционировании литературного языка. Речевое взаимодействие, основные единицы общения, *устная и письменная разновидности литературного языка, нормативные, коммуникативные, этические аспекты устной и письменной речи.*

Функциональные стили современного русского языка, взаимодействие функциональных стилей; научный стиль, специфика использования элементов различных языковых уровней в научной речи, речевые нормы учебной и научной сфер деятельности; официально-деловой стиль, сфера функционирования, жанровое разнообразие. *Языковые формулы официальных документов*, приемы унификации языка служебных документов, интернациональные свойства русской официально-деловой письменной речи, язык и стиль распорядительных документов, язык и стиль коммерческой корреспонденции, язык и стиль инструктивно-методических документов, реклама в деловой речи. *Правила оформления документов, речевой этикет в документе; жанровая дифференциация и отбор языковых средств в публицистическом стиле. Особенности устной публичной речи, оратор и его аудитория, основные виды аргументов; подготовка речи: выбор темы, цель речи, поиск материала, начало, развертывание и завершение речи; основные приемы поиска материала и виды вспомогательных материалов, словесное оформление публичного выступления, понятность, информативность и выразительность публичной речи.* Разговорная речь в системе функциональных разновидностей русского литературного языка, условия функционирования разговорной речи, роль внеязыковых факторов. *Культура речи*, основные направления совершенствования навыков грамотного письма и говорения».

К этому следует добавить насыщенность книги эффектными и реальными примерами как положительного, так и, в особенности, отрицательного свойства, многие из которых станут откровением даже для преподавателей русского языка и литературных редакторов издательств. Достаточно сослаться на злополучную цитату из Некрасова о тесноте для слов и просторе для мыслей. В частности, коллекция «ляпов» из книг и диссертаций благодаря многочисленности и разнообразию примеров вполне может составить «антихрестоматию» к учебнику русского языка. Однако главная цель книги — *мотивация прихода в науку* и облегчение первых шагов в ней.

Творческих успехов вам всем — кому первых, кому новых! А остальное к *хорошему* человеку приложится.

Набор и верстка книги выполнены автором в издательской системе MiKTEX при неоценимой помощи И. И. Захарчука. В квадратные скобки заключены названия нажимаемых кнопок меню или клавиш; [LM] и [RM] означают щелчок левой (правой) кнопкой «мыши».

Глава 1

Аттестация научных кадров

1.1. Наука и общество

Наука со времен своего зарождения была непосредственной производительной силой. Д. А. Гранин считает [64, с. 116], что человечество было сформировано не императорами, жрецами и полководцами, а теми, кто создал топор, колесо, самолет; кто нашел злаки, следил за звездами; кто открыл железо, полупроводники, радиоволны. По мнению акад. Б. П. Захарченя [8, с. 68], человека, который занимается наукой, справедливо считать *оком Вселенной*. Достаточно вспомнить, что астрономические наблюдения позволили создать необходимый для земледельческих работ календарь, геометрия — упорядочить землепользование, механика — строить здания, ирригационные сооружения, подъемные и метательные механизмы.

Практическая ценность науки признавалась всеми достаточно просвещенными правителями. К примеру, получившего блестящее образование[1] генерала Бонапарта избрали президентом Египетского института наук и искусств[2] и членом по математическому отделению. Наполеон полагал [137, с. 31], что «процветание и совершенство математики тесно связаны с благосостоянием государства», и в бытность свою императором делал из этого оргвыводы.

В развитой экономике наших дней знания стали основным фактором производства и все чаще становятся ключевым параметром экономического превосходства того или иного государства на международной

[1]В молодости, слушая лекции Лапласа и Монжа, он мечтал стать ученым. Он даже написал трактат о внешней баллистике.

[2]Нельзя не вспомнить о существующей ныне одноименной *Петровской* академии.

арене. Вице-президент РАН нобелевский лауреат Ж. И. Алферов справедливо считает [8, с. 304], что «младший научный сотрудник, работающий в лаборатории в области естественных наук, — фигура значительно более великая, чем президент любой страны. Потому что президент решает проблемы своей страны, ну в лучшем случае и нескольких соседних, а научный сотрудник, познавая законы природы, встает рядом с Богом и открывает вещи, которые несравнимы с земной властью. И нет ничего более интересного, чем этот процесс». В наши дни научная мысль, подготовленная миллиардами лет истории биосферы, стала силой геологического масштаба [41, с. 51].

Однако в нашем многострадальном отечестве наука использовалась далеко не на полную мощность. «Испокон веков Россия остро нуждалась в своей национальной интеллигенции, не только образованной, но и хорошо знающей нужды и особенности обширной страны. Но царское правительство ради безопасности государственного строя, или, как тогда говорили, «для благополучия царствующего дома», постоянно считало нужным избавляться от интеллигентов» [99, с. 10]. В 1911 г. В. И. Вернадский покинул Московский университет в знак протеста против подчинения свободных людей бюрократии, не в силах смириться с бесправием профессоров в российских университетах.

Советская власть надолго приклеила к интеллигенции постоянный эпитет «гнилая». Во времена главного идеолога ЦК КПСС М. А. Суслова к разряду труда производительного, т. е. созидающего материальные ценности, был причислен преимущественно физический труд. Все остальное — труд ученого, инженера-конструктора, организатора производства, преподавателя в вузе и учителя в школе — автоматически записывалось в разряд второстепенного занятия, деятельности, общественно менее значимой. И все это в угоду тезису о «ведущей роли рабочего класса» в развитии современного общества [46, с. 410].

По Д. С. Лихачеву («СПб. Ведомости», 9.04.2009), «интеллектуальная независимость является чрезвычайно важной особенностью интеллигенции. Независимость от интересов партийных, сословных, классовых, профессиональных, коммерческих и даже просто карьерных. Если по своим убеждениям интеллигент входит в партию, требующую от него безусловной дисциплины, то добровольная продажа себя в рабство лишает его возможности причислять себя к интеллигенции».

В. И. Вернадский считал, что «крупные неудачи нашей власти — результат ослабления ее культурности: средний уровень коммунистов — и моральный, и интеллектуальный — ниже среднего уровня бес-

партийных... Цвет нации заслонен дельцами и лакеями-карьеристами» [42, с. 603]. С XVIII в. сохранили актуальность горькие слова Гельвеция (т. 1, с. 522):

> «Нет такого глупца, который не хотел бы управлять поведением человека величайшего ума. Мне кажется, что я вижу индейского вождя, который каждое утро на заре выходит из своей хижины и пальцем показывает своему брату-солнцу путь, по которому оно должно следовать».

История развития науки в мире и в нашей стране показывает, что наиболее серьезные угрозы для науки представляют [262, с. 195]:

- идеологизация науки,
- вмешательство партийно-правительственных органов в управление научным сообществом,
- невостребованность результатов научных исследований со стороны экономики и общества в целом,
- недофинансирование науки,
- «кадровый голод» и старение кадров в науке,
- снижение общественного авторитета науки,
- развитие лженаук,
- нарушение этических норм науки.

По российской науке чугунным катком прошелся весь этот перечень, что и отразилось (и продолжает отражаться) на всех сторонах жизни многострадального народа. Публиковавшиеся данные о росте экономики за советский период вследствие повторного счета оказались завышенными на порядок, накапливалось техническое отставание. По стоимости на единицу веса в США сверлильные станки и прессовое оборудование были дороже наших в 9 раз, металлургическое — в 65, электрические машины — в 14, экскаваторы — вдвое. В США каждый третий станок был прецизионным (отделочным), т. е. являлся инструментом высоких технологий; у нас — лишь каждый восьмой. Исчерпываются ресурсы уникальных научных установок и стендов мирового уровня, устаревают приборы, научное оборудование, здания и сооружения. Современное оборудование

в стране практически не производится, а то, что производится, недоступно научным организациям по цене. Недостаточно развита информационная инфраструктура науки — компьютерно-информационные сети и библиотеки. Пополнение библиотек НИИ академического сектора, приобретение зарубежных периодических изданий почти прекратилось. Мало того, что ученым недодают. У них еще и *отбирают* часть денег, полученных по международным контрактам [8, с. 275], сотрудников Академии лишили доплат за ученые степени и звания.

От начатых М. С. Горбачевым реформ «мы ждали социализма с человеческим лицом, но никто не знал, что это будет лицо Чубайса» [8, с. 301]. Несмотря на многочисленные указы президентов России, заверения череды правительств и Государственной Думы и даже закон о науке, принятый 19 сентября 1996 г. и предписывающий выделять на ее нужды 4% от расходной части бюджета, низкое финансирование науки остается государственной политикой. В долларовом исчислении объем финансирования науки в России почти в 100 раз меньше, чем в США, и с 1990 г. сократился почти в 20 раз. Согласно [232], в 2006 г. затраты на одного исследователя в России составляли 43.6 тыс. долл., тогда как в Швейцарии — 294 тыс., а в США — 234 тыс. Соответственно, если в США выдается 90 тыс. патентов в год, в Японии — 111 тыс., то в России — лишь 14 тыс. Внедряется же у нас не более 10% изобретений, тогда как в Германии — 80% («СПб. Ведомости», 11.11.2008). За 10 лет почти 200 тыс. ученых уехали из России на Запад. Еще 300–350 тыс. проводят в российских НИИ и КБ, включая оборонные, НИР и конструкторские работы по западным заказам. Российские ученые, работающие за рубежом, специализируются в передовых и наиболее технологичных областях — математике, физике, биофизике, вирусологии, генетике и биохимии, своим трудом увеличивая отставание исторической родины от мировой науки. Страна фактически экспортирует «сырые знания»: результаты фундаментальных исследований, идеи, модели, методы. Это сырье за границей перерабатывается в технологии и товары, которые мы покупаем по рыночным ценам.

Вышесказанное немедленно отразилось на удельном весе российской науки в мировом масштабе (табл. 1.1):

Таблица 1.1. Доля наукоемкого сектора в мире, %

Страна	Годы		
	1992	1995	2000
США	28.1	29.3	33.9
Япония	23.8	21.6	18.9
ФРГ	7.4	7.0	4.5
Россия	7.3	2.2	0.9

Самое опасное — то, что пока не удается поднять нашу наукоемкую промышленность. «И все-таки главным в эти годы было сохранение нашей Академии наук как высшей — и уникальной — научной и образовательной структуры России. Ее хотели уничтожить в 1920-е годы как "наследие царского режима". Ее хотел реформировать Хрущев, но отказался: «Это как свинью стричь — шерсти мало, а визгу много». Ее хотели уничтожить в 1990-е годы как "наследие тоталитарного советского режима"... Президент РАН академик Ю. С. Осипов, ее вице-президенты, академики и члены-корреспонденты, доктора и кандидаты наук, старшие и младшие научные сотрудники, лаборанты и механики — все заняли твердую позицию в трудной ситуации» [8, с. 21]. Академик-секретарь математического отделения РАН Л. Д. Фаддеев отмечает как реакцию на голосование по проекту нового устава безумный саботаж проблем и предложений Академии во всех правительственных кругах. Акад. С. Ковалев («Литературная газета», 5–11 авг. 2009) констатировал, что подрывная деятельность по бюрократическому и экономическому подавлению академии продолжается и сегодня. В послании Президента РФ Д. А. Медведева Федеральному собранию (ноябрь 2009 г.) выражена надежда, что «благополучие России в относительно недалеком будущем будет напрямую зависеть от наших успехов в развитии рынка идей, изобретений, открытий, от способности государства и общества находить и поощрять талантливых и критически мыслящих людей». Однако основания для такой надежды в упомянутом послании не просматриваются. В частности, ни РАН, ни технические вузы не упомянуты в нем *ни разу*. В результате ряда секвестров бюджет РАН в 2009 и 2010 гг. был уменьшен соответственно на 15 и 10 %.

Акад. Ж. И. Алферов видит причину хронической нехватки средств на науку, культуру и социальную сферу в том, что «безмерно вырос государственный аппарат чиновников на всех уровнях, включая самый верхний. Почему раньше в Кремле размещался Верховный Совет СССР, Политбюро ЦК КПСС и Совмин СССР, а сегодня, когда страна вдвое меньше

и партия нами не правит, даже одним только президентским структурам тесно за зубчатой стеной?» И этот аппарат очень многого для себя требует: в 1995 г. Россия по оплате высших чиновников занимала первое место в списке 48 ведущих стран мира [262, с. 314].

Процитируем выступление Ж. И. Алферова в Государственной Думе 11.10.2000 г. [8, с. 242]: «Россия сильна прежде всего своими талантами, талантами в науке и технике... Как может быть так, что великая научная держава мира имеет в крошечном бюджете, который в 10 раз меньше, чем был бюджет РСФСР в эквивалентном исчислении, 1.72 % на науку? А в советские времена при значительно большем бюджете мы тратили на науку 3.8 %. Как могло получиться так, что на Минфин, налоговые службы и прочее тратится в полтора раза больше, чем на всю науку России?»

Последствия «экономии» за сравнительно короткое время пренебрежения наукой в гитлеровской Германии наглядно иллюстрирует акад. Л. Д. Фаддеев: «Я только что был в Геттингенском университете. В 1920-м году на физическом факультете там было 20 лауреатов Нобелевской премии. Сейчас этот университет выгнан за город, они до сих пор не восстановились».

В связи с изложенным нельзя не согласиться с древними китайцами: «Когда государство идет к расцвету, небо посылает ему мудрых и искусных в речах мужей, а когда государство идет к упадку, небо посылает смутьянов и краснобаев» [132, с. 242].

Надежды на возрождение России (по мнению акад. Инге-Вечтомова, «Мы — страна оптимистов, потому что пессимисты все уехали» [8, с. 242]) следует связывать прежде всего с *реанимацией науки*. По Дж. Берналу, наука должна рассматриваться как вторая производная от общественного продукта [77], т. е. как *ускорение* экономики. Развивающиеся хозрасчетные отношения вынудят внедрять новые достижения науки. Отметим три важнейших элемента, содержащихся в этом очевидном утверждении: результаты должны быть *новыми, научными и внедренными*. Именно они составляют суть требований, предъявляемых к диссертационным работам.

1.2. Подготовка научно-педагогических кадров

«Спасение России заключается в поднятии и расширении образования и знания. Только этим путем возможно достижение правильного государственного управления, только поднятием культуры возможно

сохранить пошатнувшееся мировое значение нашей родины», — писал В. И. Вернадский [42, с. 193]. Нельзя не подивиться в очередной раз мудрости великого писателя земли русской Л. Н. Толстого [137, с. 35]: «Только допустив бесконечно малую единицу для наблюдения — дифференциал истории, то есть однородные влечения людей, и достигнув искусства интегрировать (брать суммы этих бесконечно малых), мы можем надеяться на постигновение законов истории», — полагал он[3]. Как нужен этот интеграл *сегодня*! А в связи с проблемой обороноспособности страны нельзя не вспомнить М. В. Остроградского: «Военное дело само является не чем иным, как одним из важнейших применений математической науки» [137, с. 33].

Состояние науки определяют ее *кадры*, убыль которых за последние годы приняла катастрофический характер по причинам:

- отхода от активной научной и педагогической деятельности и физического вымирания старшего поколения ученых;
- массированной «утечки мозгов» в среднем поколении[4];
- утраты привлекательности научной карьеры и оттока в бизнес способной молодежи[5];
- снижения конкурса в аспирантуру среди желающих действительно работать в науке, а не укрыться от призыва в армию;
- усугубления трудностей обучения в аспирантуре из-за дефицита квалифицированного руководства, информационного обеспечения, приборного оборудования; беспримерного вздорожания книг и почти полного прекращения выпуска научной литературы (обильно публикуемую компьютерную литературу в подавляющем большинстве

[3]Этот тезис кажется неожиданным у Л. Н. Толстого — если не вспомнить, что он был *артиллерийским офицером*. А артиллеристов в русской армии еще с петровских времен учили хорошо и многому.

[4]По словам акад. Ж. И. Алферова [7, с. 227], для Физико-технического института это не эмиграция, а работа по контрактам — очень многие физтеховцы пишут и звонят из-за границы, просят и настаивают, чтобы их трудовые книжки хранились в институте, дожидаясь возвращения хозяев. Пока еще надеются на позитивные перемены.

[5]В США, по данным опроса службы Харриса, проявилась противоположная тенденция. Голоса участников опроса распределились между престижными профессиями следующим образом: 61 % — врачи, 56 % — ученые, 53 % — учителя, 42 % — военные и лишь 21 % — юристы и 15 % — банкиры («СПб. Ведомости», 9.09.2000).

случаев к этой категории отнести нельзя); ослабления деловых связей между вузами, НИУ и предприятиями, а также вынужденных забот аспирантов о хлебе насущном;

- падения престижа естественно-научных вузовских специальностей;
- снижения уровня школьной и вузовской подготовки.

На 31.12.2009 в РАН средний возраст кандидата наук составил 51.7 года, доктора — 64.4, члена-корреспондента — 66.8, академика — 73.6 [262, с. 206].

Государство если не по логике вещей, то хотя бы из инстинкта самосохранения было и будет вынуждено заботиться о стимулировании людей науки и подготовке научных кадров. Акад. Ж. И. Алферов [8, с. 357] видит нашу важнейшую задачу «в переходе к такой экономике, где реализован принцип высокого вознаграждения за квалифицированный труд. Потому что в XXI веке источником всякого богатства являются знания». Разумеется, можно полагать, что «термин "ученый" имеет своим денотатом любого человека, являющегося субъектом непосредственного процесса познания (У → С → П) и осуществляющего познавательную деятельность» [33, с. 18]. Однако более правильной представляется точка зрения И. С. Кона: «Ученый — человек, благодаря которому существует наука, а научный работник — тот, кто существует благодаря науке» [133]. Сразу же отметим, что льготы «остепенившимся» ученым даются не столько за достигнутые результаты, сколько под ожидаемые. «Должно смотреть, чтобы ученые были честного поведения, прилежные и любопытные люди, и в науках бы упражнялись больше для приумножения познания, нежели для своего прокормления, а не так, как некоторые, снискав себе хлеб, не продолжают больше упражнения в учении с ревностью» (М. В. Ломоносов).

1.2.1. Требования к ученому

Классики науки сравнительно единодушны в перечислении требований к «боевым штыкам» упомянутой армии. «Творчество поэта, диалектика философа, искусство исследователя — вот материалы, из которых слагается великий ученый», — говорил К. А. Тимирязев о Дарвине [49, с. 131].

Акад. И. И. Артоболевский [154] выделял любознательность, честность, точность, критичность мысли и настойчивость, осторожность в выводах и беспристрастность оценок, широту и терпимость к инакомыслящим, мужество при неудачах и великодушие в дни удач.

А. Н. Несмеянов [191] полагал, что «самое главное качество — влюбленность, ненасытный интерес к тайнам природы и к путям овладения этими тайнами. Все остальное приложится. От ученого требуется и огромный повседневный труд, труд через всю жизнь, и огромная работа мозга, и терпение, и постепенность восхождения на вершину науки, открывающего все более широкий горизонт, но все это легко для влюбленного». Здесь президент Академии наук СССР говорит языком настоящего *суфия*. Суфизм подобно другим эзотерическим школам пользуется метафорическим языком, призванным одновременно вуалировать истину от неподготовленных к ее восприятию и выражать ее, невыразимо бесконечную, хоть и косвенным, но возможно более точным образом. Столь частые упоминания в духе утонченной лирики Возлюбленной, вина и состояния опьяненности (см., например, Омара Хайяма[6]) на самом деле имеют в виду постижение Абсолюта и саморастворение в нем.

Суммируя требуемые качества из названных и иных источников, получим следующий список: любознательность; способность к самообразованию; эмоциональное отношение к проблеме; ассоциативность мышления, его гибкость и беглость; воображение и фантазия; здравый смысл; интеллектуальная собранность; наблюдательность; умение выделять главное, обобщать, систематизировать, классифицировать (этому разгадывание кроссвордов не научит); критическое восприятие теорий и наблюдаемых явлений; настойчивость; честность; умение работать в коллективе.

Специально для теоретиков к нему приходится добавить способности к свертыванию (укрупненному представлению) действий; мышление в многоуровневых абстракциях; стремление к простоте, ясности и рациональности решений; саморефлексию.

Среди личных качеств отмечаются эстетическое чутье, самокритичность, чувство юмора. И. В. Гете [15, с. 128] считал юмор одним из элементов гения. У крупных ученых все эти качества окрашиваются профессией. Например, Дж. фон Нейман говорил, что «сетовать на эгоизм и глупость людей так же глупо, как сетовать на то, что магнитное поле не может возрастать, если ротор электрического поля равен нулю: то и другое — законы природы».

У действительно крупных советских ученых с чувством юмора тоже все было в порядке. Украшением знаменитого сборника «Физики шутят» является лекция Я. И. Френкеля о квантово-механической теории ... танца:

[6]Есть данные, что он открыл формулу бинома Ньютона за 500 лет до сэра Айзека.

> «Танцующие могут описывать определенные квантовые орбиты, не испуская и не поглощая при этом никаких эмоций. Последние испускаются и поглощаются прерывным образом при переходах с одной квантованной орбиты на другую... По одной квантованной орбите могут двигаться одновременно лишь два танцора, и притом лишь с противоположно ориентированными *спинами*... Огромная заслуга в деле создания волновой теории танцев, в особенности в опытной проверке ее, принадлежит коллективу сотрудников ЛФТИ, которые в последнее время работали в этом направлении, буквально не покладая ног».

Разумеется, основой научной работы являются *знания*, но они — дело в основном наживное.

1.2.2. Психологические типы

В [242, с. 19] справедливо отмечается, что любая социальная группа должна располагать особями, уже *биологически* специализированными по необходимым для ее выживания функциям, — в частности, выработке стратегии и тактики поведения группы, ее приспособления к новым условиям. Акад. Н. Н. Моисеев [151] пишет, что на заре истории «человека разумного» он вряд ли мог бы выжить без темпераментных «властителей», чьи энергия и стремление к господству, доставшиеся им в наследство еще от диких предков, обеспечивали стабильность и благополучие своих племен. Но времена меняются, и то, что было приемлемым и даже необходимым в эпоху раннего палеолита, — выдвижение на первый план и наделение властью агрессивных и властолюбивых членов общества — начало вредить развитию человечества как вида, тормозить развитие человечества, а порой и отбрасывать его назад, как это было во времена Чингис-хана или Тамерлана.

Особенности психики фундаментальны и постоянны. Их нельзя произвольно поменять на другие, невозможно преодолеть и почти бесполезно тренировать. *Определение* психотипа никак не ограничивает индивидуальность. Просто в сценарии жизни каждому из нас назначено некое амплуа, и *очень важно как можно раньше его осознать*. У Наполеона была картотека на генералов своей и иностранных армий, содержащая их психологические характеристики [177, с. 11].

К. Юнг (см. [242, с. 21–22]) предложил классифицировать характеры по преобладанию одной из четырех основных психических функций

человека: мышление и эмоции, ощущения и интуиция, находящиеся в сложной взаимосвязи (в частности, степени развития функций внутри перечисленных пар противоположны).

Мыслительный тип (логик) есть человек, воспринимающий объективный мир как закономерно организованный и упорядоченный. Интересы логика могут быть сосредоточены на изобретении новых машин и механизмов, создании научных теорий или размышлениях об устройстве мироздания. Он считает аргументами только четко выстроенные доказательства, которые опираются на проверенные факты. Мир человеческих отношений его занимает мало. В людях он ценит прежде всего деловые качества: надежность, предсказуемость, верность взятым на себя обязательствам.

Эмоциональный тип (этик) ориентирован на отношения с другими людьми. Он легко внушаем; мнения окружающих могут быть для него вескими аргументами в принятии того или иного решения.

Ощущающий тип (сенсорик) характеризует человека действия, который живет «здесь и теперь».

Интуитивный тип (интуит), в отличие от сенсорика, интегрирует непосредственные ощущения в образы и символы, стремится проникнуть в глубинную суть процессов и явлений. В. А. Богданов в [46, с. 280] пишет об «улавливании сигналов из будущего, осуществляемых пророками веры и учеными-интуитами в науке».

Логик и этик считаются рациональными типами, тогда как сенсорик и интуит — иррациональными.

К этому добавляется внешняя или внутренняя направленность психики: экстраверт (O) ориентирован на внешние факты; интроверт (I) — на *свою оценку* предмета или события. В частности, интроверт:

- предпочитает приспособиться к ситуации, а не менять ее, даже если она его не устраивает;
- старается отгородиться от обилия новой информации;
- задумчив, молчалив, внешне спокоен;
- имеет узкий круг друзей;
- с трудом входит в новые контакты;
- стремится к сосредоточенности и тишине;
- не любит неожиданных визитов и сам не делает их;
- хорошо работает в одиночку.

Юнг выделил настолько кардинальные свойства человека, что они проявляются не только психологической однотипностью, но и сходством во внешности, тембре голоса, походке и даже предрасположенностью к одинаковым болезням [242, с. 193]. В книге акад. А. Б. Мигдала [144, с. 85] обсуждаются психологические особенности творческого стиля крупнейших советских физиков: Л. Д. Ландау, В. А. Фока, И. Е. Тамма, Н. Н. Боголюбова, И. Я. Померанчука, Я. И. Френкеля.

Сознание человека охватывает весь ощутимый физический мир и должно содержать комплексы, отражающие наиболее фундаментальные его категории: материю M, энергию E, пространство S и время T[7]. *Соционика* [242] сопоставляет эти категории с перечисленными выше психическими функциями. В табл. 1.2 приведена сводка соционических функций.

Таблица 1.2. Соционические функции

Область информации	Обозначение функции	Описание функции
Материя	MO	Деловая выгода, эффективность, целесообразность, технология
	MI	Умозрительная структура, система, научные теории
Энергия	EO	Эмоциональность, открытое эмоциональное воздействие, непосредственная эмоциональная реакция
	EI	Психологический климат, отношения людей, мораль, совесть, традиции
Пространство	SO	Волевой напор, активность, целеустремленность, владение пространством
	SI	Гармония пространственных форм, ощущение удобства, самочувствия
Время	TO	Способность оценки внутреннего содержания, потенциальных возможностей объекта
	TI	Предчувствие, прогноз, восприятие динамики развития, поэтическая фантазия, мистическое чувство

Согласно модели соционики, человеческая психика включает в себя четыре «канала связи», нумеруемых по убыванию силы действия. *Первый* канал в наибольшей степени определяет психический тип человека и потому называется программным. *Второй* канал называется продуктив-

[7]Обозначения оригинала в связи с неудобством их набора заменены на латинские буквы с очевидной мнемоникой.

ным, или творческим. Это средство реализации программы вовне. *Третий* канал обеспечивает согласие с миром и самим собой. Помещенная в него функция наиболее уязвима извне, что дает основание называть его каналом наименьшего сопротивления (КНС). По *четвертому* каналу человек внушаем в наибольшей степени, но информацию по нему на сознательном уровне почти не воспринимает. Соционическая классификация типов психики основывается на расстановке по каналам психических функций и «вертностей». Эта расстановка отнюдь не произвольна: требование сбалансированности личности накладывает на нее ряд ограничений. Экспериментально установлено:

- свойства личности в основном определяются «сильным блоком» (первый и второй каналы);
- функция второго канала должна иметь противоположное первому качество рациональности;
- каналы 2–4 имеют «вертность», противоположную первому.

В книге [242] приводится классификация 16 основных типов — с собственными именами характерного представителя. В [210] даны выдержки из нее применительно к двум психологическим типам, наиболее желательным для ученого: логико-интуитивный интроверт и интуитивно-логический экстраверт.

Более детально структура психики определена в работах основательницы соционики А. Аугустинавичюте [242]. Для руководителей научных коллективов весьма интересен раздел [242] об интертипных отношениях. Как самые перспективные направления соционики рассматриваются исследование и формирование малых групп, а также применение ее к большим коллективам: партиям и даже нациям. Считается, что Россия имеет психотип Есенина, Франция — Робеспьера, США — Джека Лондона. В приложениях к [242] даны психотипы подростков, психологические типы в биографиях (выдержки из автобиографий и документов современников). Особенно интересны автобиография К. Э. Циолковского, высказывания Чернова о В. И. Ленине и В. Ходасевича о В. Брюсове. Последнее стоит процитировать:

> «Он ЛЮБИЛ таблицу логарифмов и произнес целое похвальное слово той главе в учебнике алгебры, где говорится о перестановках и сочетаниях. Последние он любил и в поэзии.
>
> Он страстно, неестественной любовью любил заседать, в особенности председательствовать».

Книга завершается четырьмя тестами, позволяющими читателю определить тип собственной психики. Автор проверил их на себе и убедился, что все четыре дали один интуитивно ожидаемый результат.

В приложении к книге [61] приведены личный опросник Айзенка для классификации собственной личности и «ключ» к опроснику.

1.2.3. Отбор в науку

Еще древние китайцы справедливо полагали [132, с. 105–106], что

> «неспособный к ученью... к делу относится без прилежания. В споре он не способен отделить истинное от ложного, обучая других, не проявляет умения. Он ополчается на учителя, успокаивается на заурядном, погрязает душой в мирском. Радуется власти, стремится первенствовать. Посему погрязает в ловком умствовании, ищет мелких выгод, предается низменным страстям. Спросит ли о деле — перепутает концы и начала. Сочинит ли что — всюду придет к различным выводам, противореча во всех частях самому себе. Станет ли разбирать что, вновь не соберет концов, а примется собирать, свалит все без разбору; а попадется сложное дело, и вовсе концов не сыщет. Таковы пороки неспособного к ученью».

У В. Оствальда была ясно поставлена задача раннего распознавания людей с творческими задатками и с учетом особенностей ученых, стиля их мышления и труда; разработки такой типологии, которую можно было бы использовать для профессиональной ориентации в области научной деятельности. Над своеобразием творчества, его условий и стимулов размышляли крупнейшие естествоиспытатели — Г. Гельмгольц, И. М. Сеченов, А. Эйнштейн, М. Планк, В. И. Вернадский и многие другие. Математик А. Пуанкаре и химик В. Оствальд в начале XX в. создали первые книги по проблемам научного творчества. Книга В. Оствальда «Великие люди», содержащая типологические характеристики творческих личностей в области точных наук, была написана по просьбе министерства просвещения Японии, в то время только осваивавшей европейские методы организации научной работы [157, с. 5].

Предметом пристального внимания психологов и все более углубленного анализа становится также биография ученого во всех, казалось бы, незначительных деталях: среда, в которой он рос, воспитывался и обучался, различные жизненные конфликты и сложности, мотивы поведения и т. д. [157, с. 9].

Способности к науке не являются генетически обусловленными, хотя известны целые *династии* ярко одаренных личностей. В генеалогическом древе И. С. Баха насчитывалось 56 музыкантов, из них 20 первоклассных. В роду швейцарских математиков Бернулли в течение двух веков отмечено 14 крупных ученых [168, с. 14]. Когда еще при Петре I стали собирать «социетет наук» и выяснилось, что первоклассный состав собрать не удастся, вместо Иоганна Бернулли пригласили его детей — Николая и Даниила. Однако гораздо чаще «природа отдыхает на детях гениев», таланты редки и рассеяны, а их поиск превращается в сложнейшую проблему *государственной важности*. Это особенно важно в современных условиях, когда «ухудшилось качество населения, если иметь в виду круг интересов, творческий потенциал, креативные способности. Всеобщий меркантилизм разъедает души» [8, с. 324].

Практически общепризнано, что университетская система должна обеспечивать выпуск специалистов широкого профиля: готовить образцового компетентного исполнителя и поощрять наиболее способных быть выше этого образца. Колоссальное значение имеет «ранняя диагностика» одаренности. Обучение в школе за редкими исключениями ориентировано на стандартизацию своей продукции, не является *открытием* известного и уделяет совершенно недостаточное внимание развитию столь необходимой в науке индивидуальности.

Переход к *тестированию* учащихся и кандидатов на получение высшего образования и ученых степеней не только не решает, но усложняет проблему отбора. Тестирование происходит посредством серии вопросов с вариантами ответов, среди которых надо выбрать правильный. Неизбежное следствие тестирования — конформизм, подстройка под стандарт. Акад. В. И. Арнольд [12, с. 11] убедительно иллюстрирует нелепость тестов опытом США, где десятилетиями геометрические знания проверялись на задаче: «Найти площадь прямоугольного треугольника с гипотенузой 10 дюймов и опущенной на нее высотой длиной в 6 дюймов». Окончившие же *российские* школы испытуемые понимали, что таких треугольников нет: вершина прямого угла лежит на окружности, диаметр которой — гипотенуза. Поэтому высота не может быть более 5 дюймов. Далее (с. 28) В. И. Арнольд отмечает, что уровень научного образования во всех странах неуклонно снижается, но, к счастью, Россия отстает от других и в этом общемировом процессе. Поэтому наши школьники до сих пор свободно складывают дроби, тогда как американские *студенты* давно уже думают, что 1/2+1/3=2/5.

Тесты наказывают глубину, тонкость восприятия и проницательность. Тесты знаний не позволяют оценить потенциал испытуемых. Все это признается даже сторонниками ЕГЭ. Преимущества тестов состоят лишь в простоте, легкости массового применения и удобстве статистической обработки результатов.

На *экзаменах* тоже проверяют сумму знаний, но не *способность их добывать*. Даже вузовской профессурой наиболее высоко ценится не тот студент, который более всего *понимает*, а тот, который более всего *знает* [96, с. 109]. При этом пробелы в школьной и начальной вузовской подготовке часто оказываются невосполнимыми.

Студент четвертого курса одного из лучших французских университетов на письменном экзамене по теории дифференциальных уравнений у В. И. Арнольда (где он запретил пользоваться калькуляторами) задал вопрос: «А как же я узнаю, будет ли число 4/7 больше или меньше единицы?» Такое американо-компьютеризованное обучение совершенно бессмысленно, но оно постепенно завоевывает мир: ведь потребность в понимании и думании «отпадает», что и является идеалом для бюрократических хозяев жизни, которые стремятся обезопасить себя от конкуренции со стороны людей мыслящих и компетентных [12, с. 75].

Предпринимавшийся в ряде организаций и стран переход к тестам *личности* оказался «переходом к неизмеримому» из-за отсутствия научно обоснованных методов интерпретации ответа. Тестирование сложившихся ученых показало практически нулевую корреляцию результатов с реальными достижениями. Ведь в науке все новое создает индивидуальность, а законы ее деятельности являются законами-парадоксами [157, с. 292].

По указанным причинам многие крупные ученые (наиболее известные примеры — А. Н. Колмогоров, а в последние годы Ж. И. Алферов), не полагаясь на отметки в аттестатах, в поисках талантов шли преподавать в школы. По инициативе акад. Ж. И. Алферова были созданы базовые кафедры Физтеха в ЛЭТИ и Политехническом университете, физико-технический факультет Политеха, единственный в системе Академии Наук университет и готовящий к ним физико-технический лицей. Все больший размах приобретает проведение *олимпиад*, целью которых является раннее выявление способностей и которые Минобрнауки было вынуждено признать реальной альтернативой ЕГЭ.

А. Н. Колмогоров [191, с. 29] отмечал, что не существует достоверных *тестов на одаренность* (кстати, Гаусс, Дарвин, Пуанкаре, Эйнштейн не считали себя имеющими особые способности), кроме

активного участия хотя бы в маленькой исследовательской работе. Но для этого должен быть соответствующий учитель[8]. Ряд авторов, однако, считает ободряющим признаком *конструктивную* неудовлетворенность преподаванием — самостоятельный выход за рамки программы и учебного плана, инициативные работы, привлечение нетривиальных дополнительных источников и т. п. Это убедительно подтверждается биографиями Энрико Ферми [176] и С. Рамануджана [125]. По данным американского психолога Д. Макклеланда, изучавшего динамику творчества большой группы современных физиков, у многих из них уже в возрасте от 5 до 10 лет проявлялся интерес к раскрытию связи вещей [157, с. 16]. А. Н. Колмогоров отмечал, что для многих наших ученых именно знакомство с высшей математикой в школьные годы определило выбор своей специальности [177, с. 12]. Именно так обстояло дело и с С. В. Ковалевской. У Я. И. Френкеля увлечение математикой и физикой началось в знаменитой гимназии К. Мая, в которой математику преподавал Н. М. Гюнтер. Гимназист Френкель самостоятельно в рукописи на 150 страниц разработал (переоткрыл) исчисление конечных разностей [247, с. 6]. Трижды Герой Социалистического Труда акад. Я. Б. Зельдович поступил на работу в Физтех еще школьником и защитил кандидатскую диссертацию, не имея высшего образования.

1.2.4. Обучение научному творчеству

По мнению крупнейшего советского специалиста в области философии науки акад. Б. М. Кедрова, у гениального человека нет ничего такого, чего бы не было в зародыше у обыкновенного [168, с. 5]. Однако эти зачатки следует развить своевременно и до нужной степени самостоятельного мышления. Иллюзия того, что любой обладатель диплома о высшем образовании подготовлен для исследовательской деятельности, дорого обходится обществу и соискателю (выброшенные средства, загубленные годы, комплекс неполноценности и хронический невроз [135]).

Несмотря на то, что многие считают обучение научному творчеству «кощунственной затеей» [58], такое обучение необходимо. Прежде всего это относится к развитию внимания, памяти (неспроста древние греки считали «ведавшую ею» богиню Мнемозину матерью всех муз), сообразительности, навыков динамического чтения (см. разд. 3.4.6 и [168]).

[8] В. И. Арнольд, выполняя под руководством А. Н. Колмогорова *студенческую курсовую работу*, получил результат мирового класса — решил 13-ю проблему Гильберта.

Именно эти цели должен преследовать учебный процесс в средней и высшей школе. «Задачу преподнесения научных истин так, чтобы увлечь студентов и побудить их творчески мыслить, можно решить лишь на уровне искусства... Это же требуется при написании учебников» [28, с. 38]. Справедливо считается, что творческий ум складывается постепенно благодаря воспитанию неожиданных и необычных реакций на стандартные ситуации и стимулы. Ректор МГУ акад. В. А. Садовничий [217, с. 75] отмечает, что заинтересованный и прилежный студент, приступая к научным исследованиям, испытывает трудности, связанные с крутой ломкой привычной схемы «формулировка — доказательство»: в науке приходится искать «неизвестно что».

Необходима серьезная перестройка всей системы образования. В частности, следует отказаться от выравнивания классов и студенческих групп по самым слабым, которое может дать лишь послушных исполнителей, неспособных к творческому мышлению. С другой стороны, классик авиационной баллистики Д. А. Вентцель терпеть не мог отличников, «равномерность» успехов которых по существу говорит об их безразличии к науке.

Хорошо поставленный процесс обучения обязательно ориентируется на развитие творческих способностей. Студенты уже на первых курсах вовлекаются в сеть научных семинаров, слушают специальные курсы, работают под индивидуальным руководством профессоров и преподавателей [177, с. 26]. Отметим, кстати, укоренившееся злоупотребление термином «творческая интеллигенция» для исключительного обозначения *всех* работников сферы искусства — в своем большинстве людей, не создающих настоящие духовные ценности, нетворческих и неинтеллигентных, убивающих свое и чужое время в идиотских «тусовках». Чтобы в этом убедиться, достаточно провести час у телевизора с героями любого talk show. Луций Анней Сенека [221, VII, 2] справедливо считал, что «нет врага хуже, чем толпа, в которой ты трешься. Каждый непременно либо прельстит тебя своим пороком, либо заразит, либо незаметно запачкает. Чем сборище многолюдней, тем больше опасности. И нет ничего гибельней для добрых нравов, чем зрелища».

Другим важным направлением является индивидуализация обучения (в частности, с помощью компьютерных технологий). Для этого абсолютно обязателен «компьютерный английский» — независимо от базового иностранного языка и уже на первом курсе вуза. Для научной работы в любом случае необходимо хорошее знание английского плюс умение переводить со словарем еще с 2–3 языков [93]. Того же мнения еще 40 лет назад придерживался акад. Л. Д. Шевяков [256]. Упоминав-

шийся выше проф. Д. А. Вентцель свободно владел немецким, английским французским, испанским и итальянским; переводил с греческого, латыни, чешского и китайского языков.

Наконец, полезна дисциплина «Основы научных исследований», введенная для многих специальностей в последние десятилетия и неплохо обеспеченная учебными пособиями (см. список литературы). Ее основными компонентами разумно считать следующие:

- введение в науковедение;
- пользовательский уровень работы с персональным компьютером;
- основы библиографии;
- математическое моделирование и его инструментарий;
- методологию решения изобретательских (или математических — в зависимости от специальности) задач;
- стилистику научной прозы;
- компьютерный набор и техническое редактирование научной литературы.

Проблема заключается в наполнении ее конкретным материалом и в качестве преподавания, в особенности обеспечения нетривиальных *практических* занятий.

Существует точка зрения [246, с. 3], что «в любой области науки независимо от отраслевой принадлежности возможны обобщающие приемы, позволяющие превратить муки творчества в определенный наработанный алгоритм». Конечно, *творчество не алгоритмизуемо*, но лежащим в его основе профессиональным знаниям и умениям учить можно и должно. Фактически полученных в вузе знаний и в особенности практических навыков для работы *в науке* оказывается недостаточно, и приходится организовывать дополнительную целевую подготовку по тому же кругу проблем. Это делается либо с помощью аналогов института стажеров (высшие школы физиков при МИФИ и ФИАН), либо в аспирантуре, либо *персональным* обучением лаборантов, инженеров исследовательских лабораторий и молодых преподавателей. Достоинством последнего варианта является возможность *непосредственно и постепенно* перенимать опыт профессионалов высшего класса.

Среди физиков и математиков всегда был популярен альпинизм — не только как лучший отдых, но и как школа жизни. «Что нужно альпинисту, идущему на штурм Эвереста? Хорошее снаряжение, владение

техникой восхождения, нужно уметь переносить холод, ночевки на снегу, уметь дышать, смотреть и не слепнуть, тащить на спине огромный рюкзак. Но нужно еще и уметь соразмерить силы, выбрать направление, знать, что делать, если товарищ сорвался в трещину...

У ученого свои вершины, и, поднимаясь к ним, он должен не только владеть техникой исследования, но и воспитать себя для подвижнической работы» [145, с. 17].

В [183, с. 46] со ссылкой на акад. М. А. Лаврентьева проводится спортивная аналогия: «Альпинистов сначала тренируют на маленьких горках». Мастера спорта по альпинизму академики И. Е. Тамм и А. Д. Александров так бы не сказали. Подобные тренировки идут на коротких, но *нетривиальных* участках: крутые склоны, каменные и ледовые стенки, трещины, «камины» — и со страховкой. Трудность задачи должна превосходить, но не намного, возможности начинающего ученого.

«Научным аналогом» альплагерей — в зависимости от класса будущих «gorolezek»'ов (см. разд. 9.4) — являются аспирантура и докторантура. В аспирантуру вузов, научных учреждений и организаций принимаются на *конкурсной* основе граждане РФ, имеющие диплом специалиста с высшим профессиональным образованием или диплом магистра. При этом результаты выпускных магистерских экзаменов могут быть зачтены на вступительных в аспирантуру.

1.3. Диссертации и требования к ним

1.3.1. История вопроса

Ученая степень доктора наук впервые стала присуждаться Болонским университетом в 1130 г., Парижским — с 1231 г. В 1803 г. указом императора Александра I в России были введены три ученых степени: кандидата, магистра[9] и доктора наук[10]. Аналогом нынешней аспирантуры было оставление лучших студентов при университете «для подготовки к профессорской деятельности». Очень интересная и колоритная информация относительно обстановки в ученом мире, внутренней и внешней иерархии содержится в [87], см. также [92]. В наши дни полезно вспомнить, что преподаватели университетов числились на государственной службе,

[9]Степень магистра в настоящее время фактически не является *ученой* степенью, и написание магистерских диссертаций в данной книге не рассматривается.

[10]Более подробно об истории вопроса в России и СССР см. [117, с. 6].

и заслуженные профессора были обладателями высоких чинов вплоть до тайного советника (равнозначно генерал-лейтенанту военной службы) — чина, которым в Германии гордился сам Гете. Такое звание имел, например, профессор Михайловской артиллерийской академии, знаменитый металловед Д. К. Чернов [247, с. 9]. Этот статус обеспечивал им достаточную независимость от ретивых не по уму администраторов.

1.3.2. Общие требования

Важнейшими этапами воспитания ученых являются подготовка и защита ими *диссертаций*. Само слово «диссертация» в переводе с латыни означает «рассуждение». Университетские уставы уже в XVI в. включали определенные требования к самостоятельной подготовке научных трудов.

Процесс подготовки и защиты диссертаций направляется Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве образования и науки. Как основные принципы ее деятельности в [174] декларируются компетентность, независимость, объективность, открытость и соблюдение норм профессиональной этики.

Процитируем требования [174] к научно-квалификационной работе: «диссертация должна быть написана самостоятельно; обладать внутренним единством; содержать новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты; свидетельствовать о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. В диссертации, имеющей прикладное значение, должны быть приведены сведения о практическом использовании полученных автором результатов, а в диссертации, имеющей теоретический характер, — рекомендации по использованию научных выводов».

Автор одного из первых пособий по работе над диссертациями акад. Л. Д. Шевяков отмечает [256, с. 12], что «в хорошей диссертации должна содержаться новая основная идея, четко высказанная автором. Соответственно, характерным признаком хорошей диссертации является то, что ее существо, смысл имеющегося в ней нового научного достижения можно передать в немногих словах... Весь порядок изложения в диссертации и должен быть подчинен этой руководящей идее».

Диссертация — уникальный по своей полноте вид публикаций. В общем случае в ней фиксируются исходные предпосылки, ход и результаты научного исследования; приводятся не только факты, но и их многосторонний анализ; обосновывается применение общих и спе-

циальных методов. Итогом диссертации всегда является *новое знание*. «Предложенные автором решения должны быть строго аргументированы и критически оценены по сравнению с известными решениями (ближайшими аналогами)» по всем аспектам. Явно противоречит Положению случай, когда все работы соискателя выполнены в соавторстве.

Диссертация может быть представлена в виде специально подготовленной рукописи, опубликованной монографии или научного доклада (последнее — только для соискателей докторской степени). «Диссертация в виде монографии является научным книжным изданием, содержащим полное и всестороннее исследование темы, прошедшим научное рецензирование и удовлетворяющим критериям, установленным Положением» [174].

Диссертация должна рассматриваться в учреждении, где она выполнена, — только там можно сформировать обоснованное суждение о личном вкладе диссертанта в коллективный, как правило, труд (Бюллетени ВАК № 1 за 2003 г., № 5 за 2005 г.; см. также [126, с. 29–31]).

Диссертационная работа должна свидетельствовать не только о вкладе в науку, но и о личных качествах соискателя *как ученого*. Многие авторы методических разработок по написанию диссертаций полагают, что «в диссертации должны найти отражение оригинальность мысли и научных выводов автора» [246, с. 41]. Поэтому отзывы официальных оппонентов и руководителя завершаются по возможности аргументированной констатацией того, что *диссертант заслуживает присуждения искомой ученой степени*.

Успешная защита диссертации с последующим утверждением дает право на участие в работе органов государственного аттестования научных и научно-педагогических кадров (оппонирование, членство в советах и т. д.), а также в конкурсных отборах на замещение должностей, для занятия которых тарифно-квалификационными требованиями предусмотрено наличие ученых степеней (званий). Перечисленные права и соответствующие (весьма скромные) доплаты к должностным окладам предоставляются только лицам, обладающим дипломами (аттестатами) *государственного* образца. Выдавать упомянутые дипломы и аттестаты правомочно только Министерство образования и науки (п. 5 постановления Правительства РФ № 258 от 24 марта 2000 г. о Министерстве образования).

Сегодня в России одной из интегративных форм развития мысли становятся *общественные* Академии, неформально объединяющие представителей самых разных отраслей наук, которым интересны аналогичные по смыслу профессиональные проблемы. Согласно письму

№ 08-55-09 Министерства образования от 12 февраля 2002 г., присуждение ученых степеней (присвоение званий) *общественными* объединениями не влечет обязательств со стороны государства. Поэтому членство самого соискателя, его руководителя и официальных оппонентов в любых академиях, кроме РАН, никакого впечатления на диссертационный совет и на ВАК не производит и, согласно категорическому требованию Президиума ВАК (Бюллетень № 5, 2004 г.), *упоминаться в официальных документах не должно*. Международная научно-практическая конференция по подготовке и аттестованию научных кадров (Пятигорск, 23–24.09.2003) рекомендовала ВАК более активно противодействовать попыткам разрушения сложившейся в этой области *государственной* системы, размыванию научного сообщества, созданию откровенно коммерческой системы лже-ВАКов (Бюллетень ВАК № 6, 2003).

1.3.3. Докторские диссертации

Диссертация на соискание ученой степени *доктора наук* должна быть научно-квалификационной работой, в которой на основе лично выполненных ее автором исследований получен один из следующих обобщенных результатов:

- разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение;
- решена научная проблема, имеющая важное политическое, социально-экономическое, культурное или хозяйственное значение;
- изложены научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Поскольку *развитие* любого процесса измеряется его скоростью, то вкладом в развитие может быть лишь его *ускорение*[11]. По смыслу вышеприведенной формулировки (вспомним, что наука — вторая производная от объема экономики по времени) упомянутое внедрение должно явно способствовать *развитию науки*, и соискатель обязан это доказать. Таким образом, безусловным (хотя, возможно, и опосредованным) признаком докторской диссертации является получение нового дости-

[11] В предыдущей редакции Положения это требование было записано явно.

жения в науке [256, с. 6–7][12]. Оно должно быть получено в основном самостоятельно; поэтому ВАК (Бюллетень № 3, 2004 г.) обеспокоена увеличением количества докторских диссертаций, выполненных с участием консультантов (обязательное наличие таковых никакими документами ВАК не требуется). Я. И. Френкель всегда считал, что докторскую диссертацию следует делать без научного руководителя [53, с. 178]. Докторант при поступлении в докторантуру представляет развернутый план подготовки докторской диссертации, который является свидетельством его достаточной научной зрелости.

Российская докторская степень намного весомее западной PhD.

1.3.4. Кандидатские диссертации

По смыслу названия этой степени кандидатская диссертация — лишь ступень к докторской. От диссертации на степень *кандидата наук* ожидаются:

- решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний;
- научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.

Фактически цель кандидатской диссертации — доказать, что диссертант *владеет научным методом* [256, с. 6–7]. Проф. А. Т. Марьянович [135, с. 90] пишет, что «кроме открытий, в науке много почти черновой работы. Умение хорошо ее делать и подтверждает диплом кандидата наук».

Достижение необходимого стартового уровня контролируется сдачей кандидатских экзаменов по философии науки, иностранному языку и специальности. Подготовка к первым двум организуется в масштабе вуза. Соискатель, имеющий непрофильное высшее образование, сдает дополнительный экзамен по общенаучной (применительно к данной области знания) дисциплине.

Программы кандидатских экзаменов утверждаются Министерством образования и науки. Нельзя принимать кандидатские экзамены у лиц, не имеющих высшего образования и статуса соискателя или аспиран-

[12] Во всех предыдущих редакциях Положения до конца 2011 г. требовалось, чтобы достижение или проблема были *крупными*. Нет сомнений, что члены диссертационных советов будут по-прежнему на этом настаивать.

та. Форма проведения кандидатских экзаменов определяется приемной комиссией. Экзаменационные листы сохраняются в течение года.

1.3.5. Диссертация в форме доклада

Соискатель, ранее опубликовавший выполненные им и имеющие большое значение для науки и практики научные и опытно-конструкторские работы по соответствующей области знаний, может представить диссертацию на соискание ученой степени *доктора наук* в виде научного доклада. Последний представляет собой «краткое обобщенное выражение результатов проведенных им исследований и разработок, *известных широкому кругу специалистов*» [174]. К упомянутым работам могут быть отнесены выполненные соискателем лично или с непосредственным участием как соавтора. В последнем случае должен быть указан конкретный вклад соискателя. Надо доказать также, что эти работы действительно крупные (не только по объему) и оценены достаточно большим числом специалистов: должно быть не менее 50 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях. В научном докладе обязательно демонстрируется практическая значимость результатов и характеризуется степень их внедрения.

Защита диссертации на соискание ученой степени доктора наук в виде научного доклада проводится при наличии положительного заключения Комиссии на основании ходатайства диссертационного совета. Некоторые материалы по организации подобной защиты имеются в [192]. Соответствующая рекомендация должна содержаться в решении семинара, представляющего работу к защите. Доклад играет роль автореферата, рассылается вместо него и имеет соответствующий объем.

Защита докторской диссертации в виде научного доклада должна быть актом становления научной школы в определенной области техники и допускается только для соискателей, способных возглавить такую школу (Бюллетень ВАК № 2, 2000 г.). В целом ВАК и диссертационные советы фактически рассматривают защиты в форме доклада как узаконенное, но *негативное* явление:

> «По некоторым специальностям проявилась тенденция к увеличению количества работ, представленных в виде научного доклада, а также к защите диссертаций крупными руководящими работниками и администраторами, не имеющими опубликованных в центральных изданиях научных трудов и рукописных научно-технических отчетов как объективного показателя профессиональной научно-исследовательской дея-

тельности и корректного свидетельства прямого личного участия в исследованиях», — там же, с. 39.

Председатель экспертного совета по кораблестроению акад. А. А. Саркисов (см. Бюллетень ВАК № 1, 2003 г.) отмечает, что доля защит в виде научного доклада, всегда бывших на особом положении и составлявших не более 3–4 %, стала быстро возрастать, что сопровождалось снижением уровня и девальвацией ученых степеней:

> «Довольно часто в виде научных докладов защищаются откровенно слабые работы, и степень присуждается не за личные научные достижения соискателя, а за его научно-организационные или административные заслуги... Нередко представленный к защите доклад оказывается искусно составленным рефератом плохо состыкованных друг с другом работ весьма посредственного научного уровня, который по замыслу соискателя должен компенсироваться его высоким административным положением».

Далее А. А. Саркисов, резюмируя позицию ВАК, заявляет, что «...право на защиту научного доклада могут иметь лишь признанные ученые, выдающиеся конструкторы, авторы крупных научных достижений и открытий, важных технологий», и для закрытия этой лазейки предлагает потребовать обязательного представления в ВАК, кроме доклада, всех основных публикаций и других материалов[13].

1.3.6. Современные тенденции

Развал экономики и науки имел прямое влияние на динамику защит диссертаций. Вздорожали командировки, жизнь в столицах, стало трудно ездить на конференции и в столичные библиотеки. Расширилась география советов, в основном недостаточно требовательных. Сузилась и устарела экспериментальная база, усложнилось внедрение. «Свобода печати» породила предъявляемые к защите «монографии» с авторским текстом в 30–50 страниц, за которым следовали многочисленные приложения типовых документов, ГОСТов, бланков и т. п. — до стандартного объема в 300 страниц. Псевдомонографии никем не рецензируются, а их выпуск в свет определяется исключительно пробивными способностями автора. Наблюдалось резкое падение требовательности на всех уровнях защиты диссертаций и присвоения ученых званий. Председатель ВАК

[13] Это практикуется и сейчас, но только по запросу экспертного совета.

акад. М. П. Кирпичников писал, что «систему аттестации высших научных и педагогических кадров встроили в нормативную базу образования, и подготовка диссертаций стала рассматриваться как процесс образовательный. Но ведь наука — это *не передача, а производство новых знаний*! Точно так же не надо смешивать научную аттестацию с аттестацией деловых и управленческих качеств госслужащих. Это разные жанры!»

Тем не менее научная жизнь продолжается. В 2000 г. Президиум ВАК утвердил 4593 докторские диссертации. По сравнению с 1999 г. прирост составил 12 % (по кандидатским — 28 %). В то же время количество отклоненных диссертаций увеличилось в 1.7 раза. За неполный 2003 г. не выдержали экспертизы 7 % докторских диссертаций (170 работ) и 3 % кандидатских, что соответствует уровню 1980-х гг. За 10 лет (с 1997 по 2006 г.) доля докторских диссертаций по гуманитарным и общественным наукам возросла с 27 до 37 %, кандидатских — с 36 до 51 %. Продолжает снижаться доля экспериментальных работ и увеличиваться — компилятивных. В обзорах экспертных советов по различным отраслям отмечается, что результаты многих диссертаций опубликованы в малоизвестных или ведомственных изданиях. Редки работы, опубликованные без соавторов. Внедрение ограничивается единичными случаями и выполняется либо в организации, где работает автор, либо в учебном процессе. Отсутствуют данные о государственных испытаниях приборов.

В этих условиях повышение требовательности к диссертациям и процессу их прохождения стало вопросом престижа науки и образования в целом. «Российская газета» [104] резюмирует интервью с новым председателем ВАК акад. М. П. Кирпичниковым следующим образом:

> «Статус ВАК как самостоятельного и единственного в стране государственного института аттестации научных кадров должен быть сохранен, контроль за работой аспирантур и диссертационных советов — повышен, а требования к присуждению ученых степеней и присвоению ученых званий должны остаться едиными для всех соискателей независимо от их должностного положения и материальных возможностей».

Эти тезисы уже начали реализовываться. В частности, исключены все возможности защиты в подведомственных соискателю организациях. Необходимость минимум 50 публикаций в рецензируемых изданиях теоретически закрыла «черную дыру», через которую лезли в науку чисто руководящие деятели. В пилотном (пока) режиме эксплуатируется система «Антиплагиат». Поставлен вопрос о введении *отдельной* системы

аттестования бизнесменов и администраторов. По докторским диссертациям теперь требуется не менее 7 публикаций в рецензируемых изданиях (Бюллетень ВАК, 2008, № 2).

Научную общественность очень волновало, что будет с докторантурой и докторской степенью в связи с Болонским процессом. М. П. Кирпичников заверил, что *ничего не будет — за исключением повышения требований при защитах*. Болонские соглашения касаются только процесса образовательного. В России не собираются отменять докторскую степень и считать кандидатов наук докторами, хотя уровень наших кандидатских при всей тоске по повышению требований точно не ниже PhD.

1.4. Общенаучные понятия

1.4.1. Определение науки

Мозг человека способен воспринять больше информации, чем непосредственно использовать. Это противоречие приводит к возникновению науки как особой формы накопления, хранения и переработки информации [150, с. 164]. В. И. Вернадский рассматривает появление науки как этап *мирового процесса самоорганизации*. Он считал, что есть часть науки общеобязательная и научно истинная, которая резко отличается от всякого другого знания и духовного проявления человечества — не зависит ни от эпохи, ни от общественного и государственного строя, ни от народности и языка, ни от индивидуальных различий. Это:

1. Математические науки во всем их объеме.
2. Логические науки почти всецело.
3. Научные факты в их системе, классификации и сделанные из них эмпирические обобщения.

Однако содержание науки в целом этим не исчерпывается.

В самом общем смысле наука — это сфера исследовательской деятельности, обеспечивающая производство, систематизацию, хранение и использование знаний о природе, техносфере, обществе и человеческом мышлении, а также сами эти знания. Иначе говоря, наука — это итоговый опыт человечества в *концентрированном* виде [30, с. 7]. Задачи науки лежат на границе между известным и неожиданным. Отсюда одна из главных ее черт: открытость новому, способность пересмотреть привычные представления и, *если надо*, отказаться от них.

«Изнутри» содержание современной науки представляет собой сложную структуру из взаимосвязанных элементов, среди которых можно выделить научные проблемы, факты, гипотезы, модели, эксперименты и теории. По мнению акад. А. Б. Мигдала [144], «науку образуют факты, соотношения между ними и толкование этих соотношений... Хорошо установленные факты неизменны, соотношения только уточняются с развитием науки. Представления (модели) развиваются и уточняются с каждым открытием». В науке мы имеем дело не с абсолютными истинами, но с бесспорно точными логическими выводами и с относительными утверждениями, колеблющимися в известных пределах, в которых они логически равноценны бесспорным выводам разума. Научные теории и законы можно рассматривать в качестве специальных средств агрегирования информации и методов, обеспечивающих к ней относительно легкий доступ. Наука движется вперед со скоростью, пропорциональной массе накопленного знания, что определяет экспоненциальный рост объема научной (и околонаучной) информации по времени.

А. И. Ракитов [189] считает наиболее существенными следующие свойства науки:

- наука есть систематическое знание о законах, свойствах и отношениях тех или иных объектов;
- научное знание есть процесс, порождающий новое знание;
- научное знание выражается на особом языке науки, отвечающем своим логическим требованиям;
- законы науки подтверждаются опытом.

В. И. Вернадский [42] с другой точки зрения выделяет единство науки, ее демократизм и независимость от общественного строя. А. Эйнштейн [118] считал важнейшими свойствами науки *внутреннее совершенство и внешнее оправдание*.

Методы получения новой научной информации можно разбить на три большие группы:

1. Методы получения эмпирических данных.
2. Теоретические методы — построение новых теорий на основе разработанных ранее.
3. Эмпирико-теоретические методы — построение теорий на основе эмпирических данных об объекте, процессе, явлении.

Эмпирическими методами считаются:

- Наблюдение — сбор первичной информации об объекте, процессе, явлении.
- Сравнение — сопоставление объектов и выявление общего и различного.
- Измерение — количественная оценка эмпирических фактов.
- Эксперимент — наблюдение объекта, процесса, явления в контролируемых изменяемых условиях с целью выявления каких-то новых свойств и закономерностей.

К *эмпирико-теоретическим* методам относятся:

- Эвристики — получение по наблюдениям, опыту, интуиции, предвидению знания, не имеющего строгой доказательности (последнее относится также к индукции и аналогии).
- Моделирование — получение знания о некотором объекте посредством экспериментов над другим объектом, сходным с первоначальным в интересующем нас отношении.
- Визуализация — получение информации с помощью наглядного представления состояний объекта, процесса, явления.
- Исторический метод — поиск знаний с использованием предыстории.

Охарактеризуем кратко *теоретические* методы:

- Абстрагирование — выделение наиболее важных для исследования свойств исследуемого объекта, процесса, явления и игнорирование несущественных.
- Идеализация объекта в целях упрощения исследования (абсолютно черное тело, нерастяжимая нить, несжимаемая жидкость, точечная масса и т. п.).
- Формализация — составление знаковой (например, математической) модели объекта.
- Аксиоматизация — получение знаний с помощью базового набора аксиом и правил вывода из них (и из ранее полученных формул) новых верных утверждений.

- Анализ — детальное исследование выделенных свойств.
- Декомпозиция — разъединение целого на части для выявления их взаимных связей (при сохранении связей с внешним окружением).
- Синтез — соединение частей в целое с целью порождения у составного объекта новых свойств.
- Индукция — получение знания о целом по знаниям о частях.
- Дедукция — получение знания о частях по знаниям о целом.
- Аналогия — получение знаний об одних частях с помощью сведений о других.

1.4.2. Религия, философия, наука

Человечество в меру своих текущих возможностей пыталось осмыслить и объяснить окружающий мир и свое место в нем. Это первоначально синкретическое мировоззрение (и мироощущение) в дальнейшем расщепилось на религию, философию, искусство и науку — ветви культуры, не только унаследовавшие понятия и методы синкретической фазы, но и продолжающие в ходе своего самостоятельного развития взаимное обогащение. Так вошли в науку всеохватывающее представление о мировой гармонии, стремление к числу и более частные, конкретные черты нашего научного мышления, как атомы, элементы, материя, наследственность, энергия, эфир, инерция, бесконечность мира и т. п. [44, с. 32].

Отделение научного мировоззрения и науки от одновременно или ранее происходившей деятельности человека в области религии, философии, общественной жизни или искусства невозможно. Из соображений божественной гармонии вывел законы обращения планет Кеплер. Ньютон, глубоко верующий теист, считал, что в своем математическом анализе он выявил план и атрибуты Божества.

Термин «философия» впервые употребил Пифагор. Он объявил себя не «софистом» (мудрецом), но лишь «философом», т. е. любящим мудрость, ибо *обладать мудростью* дано лишь Богу, но не человеку. За тысячелетия своего существования философия способствовала созданию могучего человеческого разума; она подвергла глубокому анализу разумом человеческую речь, выработанную в течение десятков тысяч лет в гуще социальной жизни; выработала отвлеченные понятия; создала отрасли знания, такие, как логика и математика — основы нашего научного знания. По мнению В. И. Вернадского [44,

с. 54], «аппарат научного мышления груб и несовершенен; он улучшается, главным образом, путем философской работы человеческого сознания... Философия и религия тесно связаны с более глубокими, чем логика, силами человеческой души, влияние которых могущественно сказывается на восприятии логических выводов, на их понимании». Историческое место философии в совокупности инструментов познания мира образно определил Т. Данциг [75, с. 201]: «Религия — мать всех наук. Когда дети подрастают, они покидают свою мать; а философия осталась дома, чтобы утешать ее в старости. Долгая близость больше отразилась на дочери, чем на матери».

Разумеется, и «старшие родственники» науки не могут не испытывать ее влияния. Например, римская церковь согласилась на вращение Земли, но лишь в 1822–1835 гг. [45, с. 195]. Границы философии постоянно расширяются под влиянием роста науки, изымающей из ведения философии вопрос за вопросом и в то же время позволяющей ей открывать перед человеческим сознанием все новые горизонты, все новые широкие перспективы. Философский анализ отвлеченных понятий, зарождающихся в новой науке, необходим для научного охвата новых областей. Однако «создания философской мысли и религиозного созерцания не теряют при этом (по мере развития науки) того своеобразного характера, который свойствен почти всем созданиям человеческого духа. На них лежит, если можно так выразиться, печать бесконечности» [44, с. 40][14]. Приведем несколько философских формулировок с явными признаками этой печати (скорее, болезни) из сборника [46] трудов конференции, посвященной 140-летию В. И. Вернадского:

> *Целостность — это характеризует взгляд на систему со стороны ее частей, а Целое — со стороны других таких же систем. Целое предстает перед частями в виде целостности, а перед другими — как само в себе бытие, как самостоятельное явление, неразложимое на части.*
>
> *...Формируется «архетип» — особая матрица, которая отражает законы развития материального. Кратко его можно выразить следующим образом: два элемента, три уровня, пять состояний, семь слоев, двенадцать качеств.*
>
> *На формально-логическом языке логика троичности Всеобщего предстает перед нами, как Мера Единства*

[14] А. Эйнштейн считал: «Есть только две бесконечных вещи: Вселенная и глупость, хотя насчет Вселенной я не вполне уверен».

Меры Многого в Мерном Одном. На языке диалектики — как Единство взаимообусловленных, взаимодополняющих Трех различных динамичных уникальных Начал, составляющих полноту Целого.

Б. Рассел трактовал философию как нечто промежуточное между теологией и наукой. В Великобритании самой высокой академической степенью является степень доктора наук. Эта степень присуждается профессорско-преподавательскому составу на основе серьезных опубликованных научных трудов и авторитета в научных кругах. Кандидаты на такую степень должны иметь, как правило, степень доктора философии [217, с. 135]. Отсюда следует, что научное сообщество Великобритании официально воспринимает философию как «недонауку».

В. И. Вернадский философию к науке не причислял, никакой «научной философии» не признавал [45, с. 21]. Он полагал, что наука — одна для всего человечества, философий же несколько [43], и отмечал [45, с. 325], что философия не решает загадки мира — она их *ищет*. Она пытается охватить жизнь разумом, но никогда достигнуть этого не сможет. По-видимому, в наши дни польза науке от философии может заключаться лишь в целеполагании и в совершенствовании понятийного аппарата. Однако философия неизбежно не выходит за пределы понятий-слов. У нее нет возможностей подходить к понятиям-предметам. Напротив, естественник неустанно возвращается к *источнику* словесного понятия — к отвечающей ему реальности.

По мнению В. И. Вернадского [44, с. 400], «есть одно коренное явление, которое определяет научную мысль и отличает научные результаты и научные заключения ясно и просто от утверждений философии и религии, — это *общеобязательность и бесспорность правильно сделанных научных выводов, научных утверждений, понятий, заключений*. ...Такие факты и такие обобщения, если и создаются временами философией, религией, опытом, социальным здравым смыслом и традицией, не могут быть ими, как таковые, доказаны». Того же мнения придерживался еще Ф. Бэкон [224]: «Мысли философов не дают света — потому что слишком возвышенны».

По В. И. Вернадскому, между различными верованиями и между различными философскими течениями личность может делать самый широкий, не подчиненный ничьему указанию выбор, как она это делает в безграничном океане форм искусства [45, с. 522–524]:

> «Я имею определенное философское мировоззрение — философский скепсис... Да и как убеждать философов, строя-

> щих, в сущности, свое мировоззрение на вере? Как могу я с ними спорить, когда основное их положение — равноценность по достоверности философского и научного знания в научных проблемах или даже примат философского — мною сознательно отвергается? Когда в этих проблемах для меня несомненен примат научного знания, научных методов перед философскими знаниями и методами?»

Выделяя философию как своеобразную форму познания, В. И. Вернадский ставил ее в один ряд с наукой: ставил не в отношения господства и подчинения, а как равноправных партнеров, способных к творческому взаимодействию. Как следствие этого, он считал [44, с. 193], что «в области научного знания нельзя — без неизбежного крушения и кривого зеркала — искать истину философскими методами».

Свое отношение к диалектическому материализму В. И. Вернадский формулировал следующим образом [44, с. 519 и далее]:

> «В основу советской государственной философии были положены частью полемические сочинения, которые их авторами — Марксом, Энгельсом, Лениным, Сталиным — никогда не предназначались для такой цели; их выступления по практическим и политическим вопросам жизни, в которых философия занимала иногда второстепенное место...
>
> В методике научной работы никакой философ не может указывать путь ученому, особенно в наше время».

Советские литераторы, лингвисты, биологи и кибернетики никогда не забудут, чем они обязаны советским же философам. Затевалась подготовка и философско-физической дискуссии. Но «Партии и Правительству» пришлось *выбирать* между атомной бомбой и этой дискуссией, и выбор был правильным.

По мнению добросовестных философов (уже цитированный А. И. Ракитов), «философия имеет право называться наукой лишь в том смысле, что представляет собой особую систему знаний, имеющую объективную (? — Ю. Р.) значимость, свои проблемы, свои методы исследования и аргументацию и, наконец, свой особый язык. Вместе с тем философия радикально отличается от специальных наук тем, что она не изучает никакую определенную область действительности, не использует для подтверждения и установления своих истин экспериментальные наблюдения и измерения» [189, с. 37]. Пожелаем ей того же, чего желал

ей А. И. Герцен: «Философия должна стать не *любовью к знанию*[15], но самим знанием» [240, с. 162], — и вернемся к нашим проблемам.

1.4.3. Современная наука

Применительно к техническим наукам общепризнан тезис Э. Бореля: «Знание заслуживает имени науки в зависимости от того, какую роль в нем играет Число» [171, с. 63]. Тенденции развития сильно математизированных областей знания определены у Н. Бурбаки[16] [137, с. 18]:

> «Математика — это большой город, чьи предместья не перестают разрастаться несколько хаотическим образом на окружающем его пространстве, в то время как центр периодически перестраивается, следуя каждый раз все более ясному плану и стремясь ко все более величественному расположению, в то время как старые кварталы с их лабиринтом переулков сносятся для того, чтобы проложить к окраине улицы все более широкие, все более удобные».

Один из основоположников теории хаоса нобелевский лауреат И. Пригожин считает [181, с. 47], что современной науке удалось, наконец, избавиться от тезиса о простоте мира. Необратимость и случайность отныне рассматриваются не как исключение, а как общее правило. Основной акцент научных исследований переместился с субстанции на отношения, связь, время. Современное состояние науки характеризуется срастанием разрозненных знаний в единое целое [190, с. 143]. Конвергенция различных проблем и точек зрения способствует разгерметизации сложившихся отсеков и закутков и эффективному «перемешиванию» научной культуры. Биохимию, биофизику, геофизику, радиоастрономию, биогеохимию можно рассматривать не только как дифференциацию, но и как интеграцию базовых наук. Характерна также математизация гуманитарного познания (математическая лингвистика, машинный перевод, моделирование общественных процессов), в то время как в естественных науках, наоборот, возрастает субъективизация; технические науки антропологизируются (биокибернетика, робототехника, нейрокомпьютеры, искусственный интеллект, многоагентное моделирование). Одна из причин гуманизации науки [151, с. 263] — возрастающая сложность проблем, их взаимообусловленность с другими, не менее сложными; необходимость

[15] Буквальный перевод термина.

[16] Коллективный псевдоним группы французских математиков переменного состава.

их изучения в комплексе, исключающая возможность традиционных для физики методов исследования и требующая сочетания математических методов и методов, основанных на интуиции и аналогиях, на историческом подходе и т. д., то есть методов гуманитарных наук. Другая — постепенное осознание единства человеческих судеб и природы, рождающееся стремление увидеть целостную картину процесса мирового развития.

Научная технология становится все более «мягкой», плюралистической. Размываются границы между наукой, не-наукой и здравым смыслом [50]. Всерьез обсуждается тезис Л. Мэмфорда: «перспектива цивилизации — не интенсификация производства, а духовная интенсификация человеческой жизни в целом» [50, с. 12]. Последствия этих явлений для технических наук не очевидны, но размышлений заслуживают.

Наука условно делится на фундаментальную и прикладную. *Фундаментальным* считается изучение неизвестного. Фундаментальные исследования нацелены на установление новых фактов, явлений и связей между ними, новых законов и закономерностей, на разработку новых методов познания, принципов, теорий и учений, на выявление перспектив развития науки и техники. Обращаясь к молодым ученым, акад. Р. В. Хохлов писал [95, с. 13]:

> «Фундаментальные знания — это знания не расчетчика, а теоретика; не клерка от науки, а мыслителя. Конкретным вещам можно научить; их можно освоить, запомнить и пользоваться ими, как пользуются справочником, номограммой или расчетной формулой. Фундаментальные знания можно тоже выучить и запомнить, но сначала их нужно глубоко понять, прочувствовать всем нутром, ввести в язык своего мышления... Овладевая фундаментальными знаниями, специалист поднимается на высочайшую ступень понимания предмета, откуда уже открываются магистрали науки, ее самые оживленные перекрестки, горизонты будущих открытий. Многие открытия стали возможны лишь при появлении новой техники исследования. Есть мнение, что за каждым новым знаком после запятой скрывается открытие».

Именно фундаментальные научные исследования обеспечивают прорыв к принципиально новым знаниям, которые лежат в основе революционных преобразований в производстве и общественных отношениях. Содержание фундаментальной науки — дело общегосударственное. Ректор МГУ акад. В. А. Садовничий [217, с. 122] дополнительно выделяет *целена-*

правленные фундаментальные исследования, которые заведомо необходимы для эффективного решения конкретной практической задачи.

Прикладная наука направлена на обеспечение осознанной практической потребности. К ней примыкают *разработки* — систематическое использование результатов фундаментальных и прикладных исследований для создания конкретных методов и методик, материалов, объектов и систем, прототипов и образцов новых продуктов, технологических проектов, стандартов, регламентов. Четкой разницы между фундаментальной и прикладной работой нет. *Есть наука и ее практические приложения* (В. В. Дмитриев, [46, с. 93]). Той же точки зрения придерживались Л. Пастер и В. И. Арнольд [12, с. 66–67].

1.4.4. Критерии научности

Снова процитируем А. И. Ракитова [189, с. 142]: «Задачи как особые компоненты знания, фиксирующие проблемные ситуации; цели и условия их достижения; методы как описания тех или иных действий или процедур; наконец, эмпирические знания, основанные на наблюдениях и экспериментах, — встречаются в системе здравого смысла[17], в художественной деятельности и сознании, в сферах материального производства. В особой, правда, мистифицированной форме они встречаются даже в религии.

Но *теория* есть фундаментальная и отличительная конструкция, принадлежащая исключительно науке. Это положение позволяет утверждать, что знание, зафиксированное в комплексе проблем и методов, или знания фактического характера могут считаться научными лишь при выявлении определенного отношения, связей или зависимостей между ними и научными теориями».

Далее А. И. Ракитов предлагает признать *научным* утверждение, которое:

- имеет форму законообразной импликации (если $\rightarrow$ то);
- оценивается как объективная истина и относится к предметной области S;
- получено из S на основе формальных преобразований или содержательной аргументации, либо непротиворечиво присоединяется к S

[17] Здравый смысл не есть донаучный или вненаучный инструмент познания. У него иная область применения, и он развивается вместе с обществом и наукой.

на правах постулата, либо может интерпретироваться как возможный результат наблюдений.

Одним из ключевых требований к науке является *наблюдаемость* вводимых понятий (объектов, явлений). Эта наблюдаемость может быть косвенной. Должна быть не обязательно реальная, но хотя бы мысленная возможность проверки.

В каждой области науки есть *незыблемые принципы*, которые не зачеркиваются в результате прогресса науки, не устаревают. Так, например, не устарела классическая механика, хотя имеются уже и квантовая механика, и релятивистская механика, и квантовая релятивистская механика. Не устарела электромагнитная теория света, хотя после ее создания были открыты квантовые свойства света. Не устарела термодинамика. Радиоастрономия совершила переворот в астрофизике, позволив обнаружить радиогалактики, пульсары, реликтовое излучение, но фундаментальные закономерности физики не изменились. Даже теория относительности Эйнштейна, перевернувшая привычные представления о пространстве и времени, практически не изменила хорошо известных законов механики и электродинамики тел, движущихся с обычными скоростями. Новая теория должна переходить в старую в тех условиях, для которых эта старая была установлена. Мы твердо знаем, что дальнейшее развитие науки не отменит установленных соотношений, а только выяснит область их применимости. Именно стабильность достижений науки позволяет разграничить области достоверного и невозможного. Здесь уместно привести высказывание А. Б. Мигдала относительно существования НЛО [144, с. 57]: «Ни один материальный объект не может перемещаться с такой скоростью и с таким ускорением, с каким иногда передвигаются летающие тарелки: на это способен только *световой зайчик*».

В основе первой стадии любых исследований лежат *правдоподобные рассуждения* — метод, опирающийся на опыт и компетенцию исследователя.

Вместо философского постулата естественники применяют эмпирическое обобщение, имеющее, согласно В. И. Вернадскому, достоверность, равную наблюденному факту. Эмпирический *факт* или обобщение наблюдений научны, если они:

- могут быть включены в класс следствий из S;
- или присоединены к S на правах постулата;

- или используются для обоснования или необходимого подтверждения предложений S.

Научным может быть признано также *правило* R — инструкция или стандарт на основе S (химическая технология, методика физического эксперимента, вычислительный метод, алгоритм).

В. И. Вернадский считал [45, с. 371], что *научный аппарат*, определяемый им как непрерывно идущая систематизация и методологическая обработка и согласно ей возможно точное и полное описание всех явлений и естественных тел реальности, является основной частью научного знания.

1.4.5. Общенаучные термины

Приведем определения некоторых общенаучных терминов, существенных при работе над диссертацией (см. также [59]).

Методология научно-исследовательской деятельности есть учение об ее общих принципах, формах и способах. Основными признаками научного знания являются системность, фиксирование в логических категориях и законах, доказательность, объективная истинность.

Любой комплекс теоретических знаний может приобрести методологическую значимость, когда используется для объяснения данных эксперимента, как средство интеграции научного знания, для перехода от известного к неизвестному, для прогнозирования будущих событий. К компонентам методологии научного исследования следует отнести требования диалектики, кибернетики (обратная связь, адаптация, самодвижение) и системного анализа (качественная специфика системы в целом — эмерджентность, иерархичность, структура связей, взаимодействие со средой и охватывающей системой, генетические аспекты). *Методология не дает алгоритмически оформленной технологии движения к истине. Такое движение невозможно без содержательного экспериментального и теоретического исследования конкретных объектов.*

Продукт работы соискателей ученых степеней по техническим наукам вряд ли может претендовать на пребывание в упомянутой «весовой категории». То же относится к *парадигме*. Ю. В. Капитонова и А. А. Летичевский в предисловии к книге о научной деятельности акад. В. М. Глушкова называют парадигмой простую, элегантную и правдоподобную концептуализацию данных, на основании которой возможно объяснение большей части наблюдаемых фактов. Советский энцик-

лопедический словарь определяет ее как «*исходную концептуальную схему, модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного исторического периода в научном сообществе*». Парадигмы, таким образом, охватывают все научное сообщество (работников соответствующей области знания) и «несменяемы» в течение целых исторических периодов. Смена научной парадигмы под влиянием фактов, противоречащих старой, равнозначна *революции в науке*. По своему значению эквивалентны парадигме механика Ньютона, электродинамика Максвелла, теория относительности, квантовая механика [193, с. 200]. Оказаться в одной компании с Коперником, Ньютоном и Эйнштейном более чем лестно, но для этого нужно иметь очень серьезные основания. Начать лучше не с выдвижения парадигмы, а с защиты диссертации.

Понятие — целостная совокупность суждений о наиболее существенных сторонах и признаках исследуемого объекта. Абстрактные объекты эмпирически не существуют. Теоретические задачи решаются на абстрактных, практические — на реальных объектах. Действительным содержанием понятия является весь контекст данной теории и далее — более общих теорий. «Понятия могут быть поняты только через их пределы» — Л. Розенфельд [181, с. 332].

Понятия, отражающие наиболее общие свойства, стороны и отношения явлений действительности и познания, называются *категориями*. В категориальном подходе существенна иерархия понятий, определяющая области их применимости, а также характерные схемы рассуждений. Вместе они образуют *категориальную схему* данной науки. *Крупным вкладом в науку справедливо считать лишь приводящий к изменению ее категориальной схемы* [157, с. 397].

Определение — разъяснение содержания понятия. Перечислим общие требования к определению [189, с. 88]:

- Объект рассматривается как системный, функционирующий и развивающийся.
- Определение дается применительно к высшей форме понятия.
- В истории понятия должна прослеживаться динамика основных черт высшей формы.
- Частные случаи объекта должны оцениваться по степени соответствия определению.

В полном объеме эти требования реализуются применительно к социальным явлениям и особо сложным устройствам. Переставив ударение в «определить», получим явное указание на *смысл определения* («ограничить»), которое соискатель ученой степени должен постоянно иметь в виду.

Допущение — предположение, упрощающее реальный объект. Оно должно быть обосновано теоретическими или практическими соображениями, не сводящимися исключительно к соображениям простоты или удобства.

Ограничения — требования к форме представления или пределам изменения входных данных; временны́е, пространственные и иные границы исследования.

Качество — это совокупность свойств объекта, характеризующих его соответствие назначению. Таким образом, говорить о качестве чего-либо можно только применительно к целенаправленному процессу.

Одним из важнейших качеств технических объектов является *надежность*, определяемая как способность объекта устойчиво функционировать в заданных условиях эксплуатации. В близком понятии *живучесть* делается дополнительный акцент на стойкость по отношению к неблагоприятным воздействиям. Дальнейшим развитием его является *боевая устойчивость*. Все перечисленные понятия имеют множество частных аспектов.

Система есть совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных в одно целое по отношению к внешней среде для достижения некоторой цели, определяемой назначением системы. Под *элементом* подразумевается минимальный неделимый объект, рассматриваемый как единое целое. Естествоиспытатели XX вв. (Богданов, Берталанфи, Винер, Эшби и другие) сформировали основные принципы системности научного знания, «соединили» теорию открытых систем, философские принципы и достижения естествознания. Современное развитие системный анализ получил под влиянием достижений как классических областей науки (математика, физика, химия, биология, история и др.), так и неклассических областей (синергетика, информатика, когнитология, теории нелинейной динамики и динамического хаоса, катастроф, нейроматематика, нейроинформатика и др.). По сложности и размеру системы делятся на большие, сложные и простые.

Большой считается система, на работу которой существенно влияют факторы пространственной удаленности (пример — система космической навигации).

Система называется *сложной с гносеологической точки зрения*, если она требует многомодельности. *Онтологическая* сложность реализуется в одном или нескольких из нижеперечисленных вариантов: [22]:

- структурная сложность (количество и разнообразие элементов и связей между ними, иерархических уровней и подсистем);
- сложность функционирования, определяемая перечнем состояний, правилами перехода между состояниями, неопределенностью воздействия среды на систему и обратно, включением в состав системы людей;
- сложность выбора поведения в многоальтернативных ситуациях, которая определяется характером целенаправленности системы (возможен многоцелевой выбор поведения или удовлетворение противоречивых требований) и гибкостью ее реакции на заранее неизвестные воздействия;
- сложность развития, определяемая характером соответствующих эволюционных и скачкообразных процессов.

Любым сложным системам присущ набор следующих фундаментальных свойств:

- целостность, означающая, что система рассматривается как единое целое, состоящее из взаимодействующих элементов;
- связность — наличие существенных устойчивых связей между элементами и/или их свойствами; с системных позиций значение имеют не любые, а лишь существенные связи, которые определяют интегративные свойства системы;
- организованность — наличие определенной структурной и функциональной организации;
- эмерджентность — наличие качеств, присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности. К примеру, способностью летать обладает лишь самолет в целом, но не его колеса, крылья, фюзеляж, двигатель или пилот. Элементы системы лишь в ее рамках получают свое назначение и оправдание.

Сложная система, образованная увеличением размеров меньшей, не обязательно ведет себя так, как ее предшественница. Спроектированная наспех сложная система никогда не работает, и исправить ее, чтобы заставить работать, невозможно.

Я. И. Френкель [247, с. 308] считал, что хорошая теория сложных систем должна представлять собой лишь хорошую «карикатуру» на эти системы, утрирующую те свойства их, которые являются наиболее типичными, и умышленно игнорирующую все несущественные свойства. Однако «истинная простота доступна только мастеру» [144, с. 7].

Чл.-корр. РАН Р. М. Юсупов в [262, с. 239] перечисляет пути исследования сложных проблем посредством *сужения разнообразия*: полимодельного описания предметной области, классификации и упорядочения моделей, установления взаимосвязей между ними, рациональных компромиссов в многокритериальном случае, уменьшения размерности с помощью декомпозиции и агрегации, координации, аппроксимации, линеаризации, релаксации, редукции. Одним из способов борьбы со сложностью является статистический метод рассмотрения.

С другой стороны, для *решения* проблемы сложности существенно расширение разнообразия воздействий: формирование множества неокончательных решений, самоподобное рекурсивное описание, преодоление принципа разделения, управление структурной динамикой (в том числе с помощью гибкого сочетания иерархического и сетевого управления).

Изучение объекта во внешних взаимосвязях позволяет определить цели его функционирования, а анализ внутренней структуры — определить средства достижения поставленной цели. Восприятие объекта как системы зависит от точки зрения. Для астрономов группа звезд, образующих, например, созвездие Ориона, физически не является системой — просто они для земного наблюдателя проецируются на один участок неба.

Функционирование системы возможно лишь во взаимодействии с окружающей средой. В свою очередь, и система влияет на среду (пример — город и его транспортная система: проведение новой линии метро может существенно изменить стратегию домостроителей).

Системы могут иметь иерархическое (древовидное) строение, т. е. в свою очередь состоять из систем. Как правило, иерархия не является чисто структурной: функционирование нижних уровней создает условия для работы (жизни) высших; высшие в определенной степени координируют деятельность низших. Наряду с древовидными достаточно типичны матричные и кольцевые структуры.

Организация системы диктуется необходимостью достижения поставленной цели. Различают структурную и функциональную организацию системы.

Функциональная организация определяется набором и соподчинением функций системы, необходимых и достаточных для достижения цели. Способы описания функций системы:

- алгоритмический — последовательность шагов, которые должна выполнять система для достижения поставленной цели; частным видом описания функции является программа ее реализации на ЭВМ;
- аналитический — в виде математических зависимостей в терминах некоторого математического аппарата: теории множеств, теории случайных процессов, дифференциального или интегрального исчисления и др.;
- графический — в виде временных диаграмм или графических зависимостей;
- табличный — в виде таблиц, отражающих основные функциональные зависимости, например, в виде булевых функций, автоматных таблиц функций переходов и выходов и т. п.

Разные способы применяются на различных этапах синтеза и применения системы и могут комбинироваться.

Структурная организация задается набором элементов и способом их соединения в структуру, обеспечивающую реализацию функций. Виды описания структуры системы:

- графический (в форме графа, в котором вершины соответствуют элементам системы, а дуги — связям между ними, или разного вида и назначения схем, различные элементы которых обозначаются специальными символами);
- аналитический (заданием количества типов элементов, числа элементов каждого типа и матрицы связей).

Комплексом считается совокупность взаимосвязанных систем. Элемент, система и комплекс — понятия относительные. Любой элемент может рассматриваться как система, если расчленить его на части. И наоборот, любой комплекс может рассматриваться как система, если входящие в его состав системы трактовать как элементы. В связи с этим

понятия «система» и «комплекс» часто трактуют как эквивалентные понятия. Например, вычислительную машину можно рассматривать как систему, элементами которой являются центральный процессор, оперативная и кэш-память, накопители на магнитных и оптических дисках, устройства ввода-вывода. При необходимости центральный процессор можно рассматривать как систему, состоящую из арифметико-логического устройства, устройства управления, счетчика команд, буферной и регистровой памяти и т. д.

И. А. Колесникова [46, с. 353] пишет, что из-за отсутствия четких методологических ориентиров гуманитарного познания в псевдогуманитарной среде дилетантизм нередко провозглашается концептуальностью, а произвольное сочетание принципиально не сочетаемых идей, положений, авторских контекстов выдается за интегративный (системный) подход. К сожалению, это явление наблюдается и в технических науках. Наконец, нужно понимать, что *подход* к проблеме еще не означает ее *решения* и, соответственно, не является достаточным для присуждения ученой степени основанием.

Количественно любая система описывается совокупностью величин, которые могут быть разбиты на два класса:

- параметры, описывающие первичные свойства системы и являющиеся исходными данными при решении задач анализа ее свойств (например, быстродействие и энергопотребление вычислительных установок; стоимость элементов; площадь помещений);
- характеристики, определяемые в процессе решения задач анализа как функции параметров (показатели).

Внутренние параметры описывают структурно-функциональную организацию систем: свойства ее элементов и характеристики функций, а внешние — взаимодействие системы с внешней средой. Параметры собственно среды описывают, например, температурный и влажностный режим, атмосферное или гидростатическое давление, типовые помехи. Нагрузочные параметры задают внешнюю нагрузку (частоту поступления и трудоемкость задач, требования к оперативности их решения).

Качества системы оцениваются с точки зрения ее соответствия своему назначению посредством *набора показателей*. Каждый из них имеет количественный смысл и служит мерой конкретного свойства системы. В сложных случаях показатели могут комплексироваться в иерархическую систему. На верхнем уровне используются показатели результативности и экономичности. Показатели *результативности* оце-

нивают эффект применения системы (вероятность поражения цели, автономность подводной лодки, время и надежность передачи сообщения, срок окупаемости проекта). Показатели *затрат* характеризуют энергетические, трудовые, стоимостные и иные затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию системы. Для долгосрочных проектов имеются различные схемы учета распределения расходов по времени (например, приведение их к первому году эксплуатации).

Эффективностью называется комплексная характеристика потенциальных и/или реальных результатов применения системы по целевому назначению с учетом ресурсопотребления всех видов, т. е. целевой эффект, соотнесенный с затратами на его достижение в форме отношения или разности. В более узком смысле различают следующие виды эффективности:

- целевую (внешнюю),
- техническую (внутреннюю),
- управления,
- жизненного цикла,
- экономическую эффективность и ресурсосберегаемость,
- социальную,
- боевую.

Эффективность измеряется набором количественных *показателей*. Показатели должны отвечать требованиям представительности (связи с основной целью), чувствительности, комплексности, простоты (по возможности). В их числе особо отметим оценки *прямого* (целевого) эффекта: вероятность решения задачи, нанесенный противнику или предотвращенный ущерб и т. п. Экономический эффект, как правило, является побочным аспектом операции — если не был главной ее целью.

Критерии качества системы соотносят ее свойства с альтернативными вариантами и пожеланиями заказчика в форме предиката и, следовательно, имеют *логическое* значение — истинное или ложное. Это значение базируется на одном или нескольких показателях (в последнем случае говорят — не совсем правильно — о *многокритериальности*). Обычно изменение структурной и/или функциональной организации системы приводит к улучшению одних показателей и к ухудшению других, что существенно осложняет выбор наилучшего варианта структурно-функциональной организации проектируемой системы. В таких случаях,

проводя независимую оптимизацию по ключевым показателям, формируют *множество Парето* из неулучшаемых по нескольким показателям вариантов, и на их основе (например, ранжируя показатели по убыванию их важности и задавая допустимые уступки) выбирают некий компромисс. Критерий *пригодности* означает приемлемость обсуждаемого варианта системы; критерий *превосходства* — данный вариант лучше некоторой альтернативы; критерий *оптимальности* — вариант является наилучшим из всех возможных (в рамках наложенных ограничений).

Управление системой есть процесс изменения состояния (выхода) системы, осуществляемый путем целенаправленного воздействия на нее.

Закон в научной практике понимается как отношение между явлениями, отличающееся определенной степенью общности (постоянства, повторяемости, инвариантности). Этого названия не заслуживают эмпирические обобщения относительно техники и экономики — см. с. 278, о чем наглядно свидетельствует их тихая смерть в связи с общественными катаклизмами. Закон может проявляться в противоборстве со случайностью, отражающей действие неучтенных факторов или природу явления (например, в квантовой физике). *Статистические* законы существуют в разных областях знания (физика, генетика, надежность, теория очередей и т. д.), относятся к массовым явлениям и формулируются в вероятностных терминах. Законы физики (и не только физики) все больше и больше превращаются в *законы сохранения*.

Законы всегда образуют *систему*. Законы на эмпирическом уровне развития науки, выведенные из непосредственных наблюдений и еще не получившие теоретического обоснования, называются *правилами*. Экстенсивный аспект закона характеризует широту предметной области, интенсивный — глубину проникновения в сущность явления. Методы познания законов суть абстрагирование, моделирование, экстраполяция.

Система законов должна развиваться и обогащаться. «С расширением сознания расширяются и законы. Если ограничиться мертвыми законами, то лучше переехать на кладбище» (Е. Н. Рерих).

Факт в науке — это знание о реальных процессах, обладающих определенными особенностями. Ученый выбирает факты не случайные, но неоднократно повторяющиеся в многочисленных решенных и нерешенных проблемных ситуациях [251]. Ценность фактов для теории — не в их количестве, а во взаимосвязи. Факты должны быть *достоверными*: «страницы формул не доставят вам определенного результата по сомнительным данным» — Т. Гексли, [137, с. 12]. Факты в связи с текущим

состоянием данной теории могут классифицироваться на объясненные и не объясненные (см. «Волны гасят ветер» А. и Б. Стругацких).

Сущность науки заключается не в простой регистрации фактов, но в упорядоченном сравнении знаний и их классификации по *системообразующим* признакам: телефонный справочник, словарь, поваренная книга содержат точное и структурированное знание, однако мы не считаем их научными трудами. Факты выполняют свою роль в познании только тогда, когда они включены в рамки соответствующих *теорий*, открываются их закономерность и происхождение. Ценность теории определяется объемом фактов, на которых она базируется и которые она предсказывает. Факты, из которых нельзя сделать выводов, вряд ли заслуживают того, чтобы их знать. Теоретическая актуальность научной работы состоит в формулировании научных гипотез на базе предварительно накопленных и обобщенных фактов. В процессе обработки фактов одновременно происходит минимизация их описания.

Теория есть логически непротиворечивая совокупность умозаключений, отражающая объективно существующие отношения и связи между явлениями действительности в определенной предметной области и служащая ее знаковой моделью. Это высшая форма организации научного знания, включающая систему абстракций, фундаментальных понятий, исходных принципов и законов. И. В. Гете считал [145, с. 6], что «всякое созерцание переходит в наблюдение, всякое наблюдение — в соображение, всякое соображение в установление важной связи, и можно сказать, что всякий раз, когда мы внимательно вглядываемся в мир, мы создаем теорию».

Следует упомянуть и коммуникативную функцию теории — накопление, хранение и передачу знания. Мир теории для каждого человека в определенном смысле богаче физического мира, поскольку отдельный человек видит лишь небольшую и к тому же только внешнюю часть действительного разнообразия вещей. Теория позволяет концентрировать опыт всего человечества — как ныне живущих, так и прежних поколений, осмысливать прошлое, предвидеть будущее. В современном обществе авторитет научных теорий столь велик, что многое, не являющееся теорией, часто называют тем же именем. Это было особенно характерно для нашего общества, где долгие годы процветали «теории» загнивания капитализма или развитого социализма [30, с. 105].

Теория строится на основе идеализированной модели объекта исследования. А. Эйнштейн считал, что теория должна быть настолько проста, насколько это возможно, — но не проще. Специфика теории

зависит от системы абстрактных объектов, которую называют ее *концептуальным ядром*. В математике используются не только абстракции над реальными вещами и процессами, но и многоуровневые абстракции над абстракциями. Именно их имеют в виду Н. Бурбаки, определяя предмет математики в целом как абстрактные структуры. Однако *корни* абстракций в конечном счете всегда находятся в реальности. То же самое, как убеждает весь опыт мировой науки, можно сказать об уже состоявшихся или потенциальных приложениях самых абстрактных теорий. Акад. Л. Д. Фаддеев считает, что удачные математические приемы имеют не просто инструментальное значение, но и глубокий физический (технический) смысл.

С формальной точки зрения в состав теории входят:

- эмпирическая основа (факты);
- теоретическая основа (допущения, аксиомы, общие законы);
- логика теории (правила вывода);
- множество выведенных результатов (массив теоретического знания).

«Факты сами по себе не составляют истины: они просто существуют» [180].

Аспектами теории считаются логико-лингвистический (упорядоченность и закономерности), модельно-репрезентативный (единство мышления и бытия), прагматико-процедурный (операционная и аксиологическая составляющие), проблемно-эвристический (следствие сложности реальности). Они тесно взаимодействуют и имеют общие элементы.

К теории предъявляются требования прочности и плодотворности. Л. Д. Ландау говорил: «Истинная теория явления отличается от простого пересказывания фактов учеными словами именно тем, что из нее следует гораздо больше, чем дают факты, на которых она основана»[18] [135, с. 105]. Теория Дирака прекрасно объясняла детали строения атома, а затем неожиданно для ее автора предсказала существование позитрона [193, с. 210]. «Столкновение» теорий считается не бедствием, но благом, ибо открывает новые перспективы.

Наука находится в постоянном поиске обобщающих теорий (элементарных частиц, управления, систем). Лучшей считается та, которая,

[18] Аналогично можно сформулировать отличие поэзии от прозы.

основываясь на наименьшем числе предпосылок, объединяет наибольшее число фактов, ибо она способна ассимилировать еще большее количество фактов без ущерба для своей собственной структуры. Общность теории есть один из важнейших показателей ее ценности. Однако надо иметь в виду известное противоречие между содержанием и объемом понятия: чем больший круг вопросов охватывается, тем меньше можно сказать (объяснить, сделать). Таким образом, имеет смысл и специализация наук. Однако полная автономность частной науки и невозможна, и нежелательна. *Специализация должна рассматриваться как фокусирование универсального научного знания на определенной проблемной области.*

Как отмечает П. Л. Капица [96, с. 21], «развитие науки заключается в том, что в то время как правильно установленные факты остаются незыблемыми, теории постоянно изменяются, расширяются, совершенствуются и уточняются. В процессе этого развития мы неуклонно приближаемся к истинной картине окружающей нас природы, понимание которой необходимо для того, чтобы все более полно овладевать и управлять этой природой. Наиболее мощные толчки в развитии теории мы наблюдаем тогда, когда удается найти неожиданные экспериментальные факты, которые противоречат установившимся взглядам... Тогда теория должна измениться и, следовательно, развиться».

Любая новая теория, претендующая на более глубокое описание существующей реальности или на более широкую область применения, должна включать в себя старую теорию как частный или предельный случай. Этим обеспечивается сохранение знания и в то же время — его развитие. А. Эйнштейн полагал, что «лучший жребий физической теории — послужить основой для более общей, оставаясь в ней предельным случаем».

Состоятельность теории проверяют с трех точек зрения: эмпирической (сопоставление теоретических и фактических данных), внутренней (непротиворечивость), метатеоретической (с позиций более общих наук). Основанием для выбора объекта исследования является несовершенство его теории (недостаточны объяснительные и прогностические возможности последней).

Принцип есть исходное положение теории, учения; основное правило деятельности, руководящая идея. Именно принципы позволяют свести законы в единую систему. При создании новой теории роль принципов играют *постулаты*.

Концепция — это целостный способ понимания действительности посредством объединения на основе какого-либо теоретического принципа в логическую систему соответствующих категорий и законов. В сущности, это одна или несколько ключевых идей, пронизывающих всю работу. Построение любой системы характеризует именно концепция. Научная работа от фактов через обобщения, понятия и классификации приходит к концепциям и уже от них — к теориям, моделям, методикам, схемам, технологиям. Глубоко правильно, что в единственном пособии [160], специально посвященном написанию *докторских* диссертаций, примеры концепций излагаются в стиле формулы изобретения («отличается тем, что . . . »).

Гипотеза есть предположение о свойствах объекта либо причинах изучаемого явления. Гипотезы дают стимул научному изысканию и определяют применяемую методику. Требования к гипотезе:

- состоятельность (объясняет все, что надо, или, по крайней мере, дает на это надежду);
- проверяемость (должен быть ясен и *способ* проверки);
- максимальная общность;
- способность порождения новых следствий;
- предсказательная сила;
- преемственность по отношению к существующему знанию;
- логическая простота.

Гипотеза *включает* в себя понятия, суждения и умозаключения. Место гипотезы в науке определяется естественной цепочкой познания:

- установление фактов;
- первичное обобщение;
- обнаружение отклонений от правила;
- изобретение объясняющей гипотезы;
- логический вывод следствий из нее;
- проверка этих следствий.

Поэтому некоторые авторы (К. Поппер) определяют сущность научного метода в широком смысле слова как гипотетико-дедуктивную.

Гипотеза выдвигается на путях решения проблемы, опирается на факты или разумные соображения и несет в себе заявку на новое знание. Рабочая гипотеза — временное допущение для организации имеющегося фактического материала. Когда появляется возможность выдвинуть «проект решения проблемы», гипотеза приобретает ранг научной. Доказательство истинности гипотез строится либо в форме подчинения результатов известным законам данной науки и специальности (кандидатская диссертация), либо в форме доказательства самостоятельной гипотезы, нового закона, принципа, направления науки (докторская). Новое направление в науке требует смелых предположений, широких обзоров; объяснения фактов, которые до этого оставались необъясненными или объяснялись искусственно и чрезмерно сложно.

Если гипотеза действительно снимает замеченные противоречия и позволяет предсказывать нетривиальные новые факты, она получает ранг *закона*. Разумеется, должны быть установлены границы ее истинности (применимости). Эти границы со временем могут пересматриваться.

Как правило, новая гипотеза не противоречит общепринятым фактам и теориям, но включает их в себя как частный случай (классический пример — релятивистская механика). Требование *простоты* предъявляется к гипотезам и теориям для того, чтобы справиться с увеличивающейся сложностью понимания реального мира: «по мере развития науки основы упрощаются» (Л. Д. Фаддеев). Контрпримером может служить система эпициклов в птолемеевской концепции мироздания. Часто цитируют И. Ньютона: «Я гипотез не строю». На самом деле Ньютон не боялся выдвигать и строить гипотезы: он просто остерегался преждевременно считать их достоверными.

Некоторые сложные явления требуют для своего объяснения нескольких гипотез (принцип дополнительности в квантовой физике). Часто автор сам скептически относится к некоторым следствиям из своей теории (Максвелл, Планк, Дирак [193, с. 282]).

Открытие определяется как крупное достижение в процессе познания природы, в корне меняющее его уровень. *Его нельзя предвидеть: открытие возникает только как побочный продукт исследования* (А. Б. Мигдал, [144, с. 61]). Создание связанной с открытием концептуальной системы обычно растягивается во времени. Для открытия необходимы социальные и научные предпосылки. Примерами могут служить электротехника, радио, радиоактивность, биспиральная структура ДНК. Условиями (фазами) открытия являются:

- четко зафиксированная совокупность объясненных и необъясненных фактов;
- ряд неудачных, но в чем-то предвосхищающих открытие попыток;
- наличие частичных решений средствами других наук и их идейная общность;
- переформулировка первичного варианта проблемы;
- активный поиск аналогов открытия в смежных дисциплинах;
- рождение новой идеи в результате неожиданного и нестандартного поворота мысли в ходе научного поиска;
- модификация на ее основе соответствующей теории (или создание новой);
- объяснение новой идеей всех не объясненных фактов и подтверждение объясненных;
- предсказание неизвестных науке фактов (эффектов);
- их экспериментальное обнаружение;
- практическое использование.

Понимание открытия заключается в ассимиляции новых вещей и понятий, т. е. в обнаружении их существенного сходства с вещами и понятиями, уже знакомыми нам, в осмыслении новой схемы, которая должна быть шире предшествующей.

Любая общая идея приобретает ценность, только если она подтверждена научным доводами, и честь открытия принадлежит тем, кто способствовал превращению идеи в доказанную истину. Обычно новая система содержит реликтовые элементы, и ее создатель не вывел все возможные следствия [193, с. 281]. Понятие открытия разумно относить не к первому акту экспериментального обнаружения чего-то нового, а к выработке *нового знания*. Подлинное открытие происходит тогда, когда оно включается в новую систему представлений, или когда ясно осознается его противоречие с существующей концепцией со всеми вытекающими отсюда последствиями — необходимостью коренной реформы или смены этой концепции. Важное значение имеют и *негативные* открытия — доказательства невозможности или несуществования, отсекающие тупиковые направления исследований (классические примеры — квадратура круга и «вечный двигатель»).

Дальнейшее развитие уже сделанного открытия состоит в последовательном распространении родившейся мысли на всю данную область познания, в проверке ее на частностях, в выработке на ее основе цельной картины, объясняющей весь данный круг явлений в целом.

При расширительном (и вполне допустимом в определенном контексте) толковании термина «открытие» он может обозначать любой научный результат. Научные открытия различаются *масштабом* — глубиной и широтой порождаемых ими изменений в состоянии науки.

Метод есть совокупность подходов, приемов, способов и правил, которые исследователь применяет для получения новых знаний и фактов, открытия новых законов и категорий, формулирования новых законов и постулатов, совершенствования теории и выработки обоснованных практических рекомендаций. Метод является отображением существенных связей и сторон предметной области. *Нет пользы от теории без реализующего ее метода*. Научным результатом может считаться лишь метод, имеющий теоретическую основу.

Метод включает разнообразные эмпирические, технологические и теоретические процедуры и приемы, систематическое применение которых приводит к достижению поставленной цели: «Достоинство хорошей методы состоит в том, что она уравнивает способности: она вручает всем средство легкое и верное» (Ф. Бэкон, [154, с. 269]). Правильнее было бы говорить, что «метода» позволяет решать сложные задачи *даже неспособным*.

На основе метода для решения частных задач, для практиков и для специфических условий применения составляются *методики*. Методики теоретического исследования ориентированы на работу со знаковыми объектами. Практические методики обеспечивают реализацию теоретических результатов. В совокупности методики составляют основу *практической* ценности работы и соответствующего аспекта ее значения. Большинство форм внедрения результатов связывается именно с методиками.

Проблема — это констатация недостаточности достигнутого уровня знаний для теоретически и практически значимого конкретного случая. Новые научные направления возникают не по постановлению правительств, а в результате работы ученых [8, с. 256]. Ощущение наличия проблемы субъективно и может порождаться недостатком у исследователя теоретических знаний. Ученый должен «знать все о чем-то и что-то обо всем». Для претендента на докторскую степень первое «что-

то» расширяется, а второе углубляется минимум втрое (исходя хотя бы из сложившегося соотношения между численностью докторов и кандидатов 1:10, а $\sqrt{10}$=3.162).

Компонентами проблемы являются *факторы* — свойства объекта или процесса, выделенные для самостоятельного исследования. Качество решения проблемы должно оцениваться одним или несколькими *показателями* (целевыми функциями). *Критерий* есть правило принятия решения из удовлетворяющих наложенным ограничениям. Возможные варианты — любое, с экстремальным значением показателя, минимаксное в задачах игрового типа, компромиссное в некотором смысле и т. п.

1.5. Результаты

1.5.1. Научный результат

Науке нужны не новые слова, но результаты. Квалификационный статус диссертации требует от ее автора обязательного вклада в науку: *нового научного результата*. Результат считается научным, если он получен с применением научно-методического аппарата, т. е. апробированных научной общественностью формальных методов, способов и средств, гарантирующих достоверность результата. Результат должен появиться на основе анализа истинных предпосылок и правильных (с точки зрения формальной логики) рассуждений. *Не являются доказательством апелляция к авторитетам и ссылки на мнение большинства.*

Результаты должны быть конкретными утвердительными суждениями (исключаются «некоторые», «определенные» и т. п., возможность произвольного толкования). Следует четко разделять чужие и собственные результаты.

Для научных результатов характерны высокие степени общности и абстрактности. Особенно ценится развитие *аппарата* науки — создание средств получения результата и оценок его достоверности, точности, эффективности. П. Л. Чебышев писал: «Если теория много выигрывает от новых приложений старой методы, то она еще более приобретает открытием новых метод, и в этом наука находит себе верного руководителя в практике» [60, с. 44].

Научными результатами уровня *докторской* диссертации считаются (если они новы):

- концепция (определенный способ понимания каких-либо явлений, руководящая идея их освещения, ведущий замысел, конструктивный принцип) проблемной области;
- обнаружение, а также теория объяснения и расчета некоторого класса явлений (физического эффекта), включающая соответствующий понятийный аппарат и математическую модель;
- методы расчета параметров и их динамики;
- алгоритмы расчета; оценки их трудоемкости, требуемых объемов памяти, устойчивости, сходимости, погрешности; способы задания начальных и граничных значений и начальных приближений для итерационных процессов; методы ускорения сходимости итераций;
- методы оценки вероятностей состояний, точности, надежности, устойчивости, безопасности, результативности, экономичности, эффективности процессов;
- улучшение известных теоретических оценок;
- методы проектирования технических устройств и систем с заданными характеристиками;
- теория применения систем по их основному назначению.

В *кандидатских* диссертациях научными результатами считаются:

- математические модели анализа технических средств и аппаратуры;
- оценка показателей исследуемых устройств: их точности, быстродействия, объема памяти, надежности, помехозащищенности, габаритов и веса, потребляемой мощности, технологичности, устойчивости;
- методы анализа, синтеза, инженерного расчета самих средств и их основных характеристик;
- конкретные формулы (алгоритмы) для расчета параметров;
- руководящие материалы для проектирования средств.

Более обширные перечни потенциальных элементов научного вклада, расписанные по этапам решения проблемы, но без разделения по ученым степеням, предложены в [11].

Предполагается, что все элементы этих перечней, содержащиеся в конкретной диссертации и вынесенные ее автором на защиту, удовлетворяют требованиям значимости, существенной новизны и полезности.

1.5.2. Научная значимость

Высшую научную значимость имеет *открытие* — обнаружение того, что существует независимо от нас (изобретение есть *создание нового*). Суть научного открытия не в том, чтобы увидеть нечто, а в том, чтобы установить прочную связь между ранее известным и доселе не известным. Открытие должно быть истинным, нетривиальным и вести к обобщениям. Варианты значимости для теории: сделано обобщение, разработано новое направление, доказана (показана) необходимость ..., определены направления дальнейшего поиска, расширено представление о ..., вскрыты закономерности (обнаружены свойства)... и т. д.

Научная значимость определяется:

- объемом и уровнем научного вклада: нетривиальностью (неочевидностью для специалиста); общностью; масштабом требуемых им изменений принятых в данное время взглядов или теорий;
- кругом потенциальных приложений;
- полезностью;
- эффективностью.

Все компоненты значимости должны быть *конкретизированы*: что дает диссертация для развития науки; какие новые задачи могут быть решены; насколько могут быть улучшены прежние решения и в каком смысле: по размерности задачи, учету новых факторов, целевой функции, процессу получения решения (трудоемкость, точность, скорость сходимости). Требования для кандидатской и докторской диссертаций здесь различны и вряд ли могут быть сформулированы для общего случая. Соответствие им представленной работы определяет диссертационный совет (по сути, только для этого он и нужен). Аристотель [154] считал: «Высшей истинностью (ценностью) обладает то, что является причиной следствия, в свою очередь истинного».

Достижения оценивают не по трудности их получения, а по важности применений. Оценка важности открытия со стороны профессионалов может оказаться неожиданной и не совпадающей с эмоциональной.

М. Борн писал об открытии Нептуна Леверрье и Адамсом: «Это был удивительный подвиг математического искусства и терпения, а также уверенности в результатах, но, не умаляя их, можно сказать, что это не расширяло кругозор теории» [157, с. 149].

1.5.3. Достоверность

Приводимые соискателем теоретические выкладки могут оказаться чрезвычайно громоздкими. Нередки доказательства одной теоремы на 5, 15 и даже на 50 страницах. Поэтому оппоненты, рецензенты и члены совета устанавливают отсутствие ошибок в математической части работы преимущественно по *косвенным* данным. Достоверность ее может подтверждаться совокупностью следующих обстоятельств (не обязательно всех):

- адекватностью математической модели предметной области (проще говоря, правильным учетом всех основных факторов);
- реальностью исходных данных;
- их представительностью (типичностью для предметной области);
- корректностью их предварительной статистической обработки, указанием для упомянутых данных доверительных интервалов и доверительных вероятностей;
- верификацией математической модели — совпадением результатов ее обсчета с полученными другими методами (например, системы массового обслуживания — методами имитационного моделирования, линейчатых процессов и вложенных цепей Маркова [200]), для известных частных случаев, с непосредственно наблюденными характеристиками;
- использованием при анализе модели апробированных научной общественностью логических закономерностей, математических формализмов, расчетных зависимостей, пакетов подпрограмм;
- корректной статистической обработкой результатов имитационного моделирования (обязательно с построением доверительных интервалов и доверительных вероятностей и с демонстрацией *статистической значимости* улучшения определяемых показателей);
- качественным соответствием полученных результатов аргументированным вербально ожиданиям;

- согласием результатов теоретического анализа с данными эксперимента — натурного, вычислительного или на физической модели;
- совпадением предсказанных расчетом характеристик с рабочими характеристиками макета (опытного, промышленного образца) спроектированной техники;
- положительными результатами практического внедрения.

Отметим, что все доказательства достоверности результатов должны быть *конкретными* (объем выборок, что с чем совпадает и т. п.). Е. И. Регирер [190] ссылается на работы Перрена, определившего число Авогадро 16-ю различными способами и получившего значения в пределах от $60 \cdot 10^{22}$ до $69 \cdot 10^{22}$. К одному и тому же числу привели подсчеты, касавшиеся таких разнообразных явлений, как броуновское движение, голубой цвет неба, внутреннее трение газов, спектр черного тела, радиоактивность и т. д.

Н. Бурбаки [57, с. 194] отмечали, что «Ньютон и Лейбниц, повернувшись спиной к прошлому, решили временно искать оправдание новым методам не в строгих доказательствах, а в обилии результатов и их взаимной согласованности».

1.5.4. Творческая новизна

Новизна результатов должна быть *конкретизирована*. Неопределенность в этом пункте — наиболее частая причина возврата диссертации. Новизна *темы* недостаточна: ученая степень присваивается не за «подход», а за результаты. Новизну не следует путать с *актуальностью* (практической потребностью).

Новизна может быть пионерская (открытие принципиально новой возможности) или развивающая. В последнем случае должно быть указано направление развития (углубление, детализация, эффективная реализация, новые применения). Однако новаторство не должно быть самоцелью.

Новизна обязательно предполагает полезность и неочевидность для специалиста. Сопоставление проводится с ближайшим прототипом. Новизна должна быть *мировая* (как для патентов): нечто, сделанное «впервые в Российской Федерации», — не проходит. Поэтому соискатель должен изучить историю вопроса по доступной мировой литературе. Для этого необходимо хорошо владеть техническим переводом с иностранного языка (лучше хотя бы с двух).

Теоретические обоснования *изобретений* и методов оценки их эффективности являются вкладом в науку и при условии получения авторского свидетельства (патента) считаются имеющими мировую новизну. То же относится к алгоритмам, прошедшим экспертизу на новизну и включенным в Государственный фонд алгоритмов и программ.

В случае с изобретениями проблемой *приоритета* занимается Госкомитет, и решающим фактором является момент подачи заявки. Применительно к теоретическим изысканиям дело обстоит сложнее. Одновременное появление новой идеи у нескольких авторов означает только, что зов эпохи услышан; а то, что слышит один человек, может услышать и другой. Фактору времени и в чистой науке придается первостепенное значение, однако публикация недостаточно проверенных результатов считается нарушением научной этики.

Научное сообщество дополнительно принимает во внимание аргументацию (общность, строгость доказательства, обширность базы наблюдений, чистоту и изящество эксперимента), а также количество верифицируемых следствий. К примеру, применявшаяся множеством авторов с первых лет существования теории очередей «фольклорная теорема» $q = \lambda w$, связывающая среднюю длину очереди q, интенсивность потока заявок λ и среднее время ожидания начала обслуживания w, была названа в честь Литтла, впервые доказавшего ее строго в 1961 г., т. е. через пятьдесят лет после первого применения.

1.5.5. Практические результаты

Практическими результатами могут быть:

- разработка конкретных технических средств или их макетов;
- разработка технологических процессов и их внедрение;
- методики расчета исследуемых характеристик, процессов, устройств;
- программы их расчета на ЭВМ;
- программы и методики обучения эксплуатационного персонала, испытаний и приемки изделий и технологических процессов;
- полезный эффект, полученный при внедрении (реализации) результатов работы и подтвержденный актами о реализации.

Научные и практические результаты должны находиться в причинно-следственном отношении.

В тексте диссертации должна содержаться демонстрация *полезности* результатов с *конкретным* показом достигаемых преимуществ. Практическая ценность работы определяется в терминах: *сокращаются время, затраты, энергоемкость, вес, коэффициент запаса по ..., вредное воздействие на ...; повышены точность, быстродействие, производительность, достоверность, надежность, ресурс*. Выигрыш по оцениваемым показателям должен быть практически ощутимым и в любом случае превышать погрешность оценки показателя. Практическая ценность результатов лучше всего оценивается *эффективностью* — сопоставлением выигрыша от полученного эффекта с затратами на его получение в форме разности или отношения. *Понятие эффективности относится только к целенаправленным процессам.*

В работах со значительным удельным весом экономических аспектов как эффект, так и затраты подсчитываются с учетом временнóй динамики затрат и масштаба внедрения (например, капиталовложения и эксплуатационные расходы могут приводиться к первому году внедрения).

Подтверждением практической ценности могут служить успех непосредственного применения, решение компетентного органа об использовании, включение в стандарт, нормативную документацию, ОКР, в план ОКР, утверждение метода расчета головной проектной организацией; решение НТС министерства, федерального агентства, госкомитета, отделения Академии Наук о развитии исследований.

Иногда практическая ценность работы становится очевидной многие годы спустя. Результаты Аполлония по коническим сечениям не находили применения 2000 лет. Только 4 октября 1957 г. — после запуска первого спутника — проф. С. М. Лозинский смог, наконец, аргументированно заявить (факт из истории Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского), что эту тему исключать из программы курса математики нельзя.

Глава 2

Психология научной работы

2.1. Специфика научной деятельности

Жажда знаний является самым глубинным стремлением и определяющим свойством человеческого рода (homo sapiens). Это давно осознано и зафиксировано его лучшими умами:

> «Наука свободна, честна и бесстрашна. Наука может мгновенно изменить и просветить вопросы Мироздания. Наука прекрасна и потому беспредельна. Наука не выносит запретов, предрассудков и суеверий. Наука может найти великое даже в поисках малого» [1].

Гаспар Монж полагал, что «очарование, сопровождающее науку, может победить свойственное людям отвращение к напряжению ума» [144, с. 3]. Ж. Фурье [137, с. 9] считал математику «силой человеческого духа, призванной вознаградить нас за несовершенство наших чувств и за краткость нашей жизни». К притяжению со стороны науки добавляется эффект отталкивания обществом: «Что особенно отваживает великие умы от общества, так это равенство прав, а стало быть, и претензий при неравенстве способностей» [258, с. 119].

Эти обстоятельства (а также некоторые другие — см. следующий раздел) всегда привлекали в науку истинно любознательных людей. В современных условиях может цениться и специфика научного труда: престижность (в глазах ценителей); высокий образовательный и культурный уровень сотрудников; иерархия *знаний*, а не должностей; демократизм; разнообразие видов деятельности; возможности как индивидуальной, так и коллективной работы; ограниченная подверженность

планированию и нормированию производительности труда. Однако эти преимущества доступны лишь завоевавшим достаточно высокий статус. В общем же, как говорил Лис из сказки о Маленьком Принце, «нигде нет полного совершенства»:

- ученый стал научным *работником* и выполняет задания. Отсюда производственный режим, планирование, отчетность, бюрократия, срастание научной элиты с олигархией [111]. Это угроза демократии внутри науки;
- службу в науке всем, как в свое время А. В. Суворову в армии, приходится начинать с нижних чинов. Эта служба забирает человека целиком: науке нужно отдавать все свое время, выделяя для отдыха лишь самый необходимый минимум;
- в отличие от армии, продвижение в ученой иерархии по выслуге лет никому не гарантируется и даже при успехе ситуацию не меняет: «Работа и есть личная жизнь» (Н. И. Вавилов, [154]);
- праздники в науке случаются редко и достаются упорным трудом. На удачу рассчитывать не приходится, открытия выпадают на долю немногих и далеко не каждый день. Наиболее замечательные открытия делаются не столько людьми, сколько временем: Гете говорил [240], что надо «оказаться на месте вовремя, чтобы сорвать расцветший бутон».

По изложенным причинам правильнее вместе с Н. Винером считать, что «наука — это не служба, а служение» [160, с. 6]. Это объясняет особый традиционный настрой, который (пусть не везде, не всегда и не во всем) все еще сохраняется в ученой среде и составляет основу ее притягательности. Согласно «Ли Цзи» («Древнекитайская философия», т. 2, с. 139–140),

> «Узнав нечто благое, ученые делятся друг с другом, увидав нечто прекрасное — друг другу показывают. На служебной лестнице пропускают друг друга вперед... Если другому долго не везет, ждут вместе, если друг в захолустье — вызывают его к себе... Среди низких ученый не выказывает своей возвышенности, свершенную им малость не выдает за многое. В умиротворенный век не бывает беспечным, в смутное время не впадает в отчаяние. С единомышленниками не впадает в сговор, инакомыслящих не отвергает. Такова независимость ученого, и таков его особый путь.

Если говорить о высочайших, то ученый не подданный даже для Сына Неба. Внимательный и спокойный, он превыше всего ставит широту души. Стойкий и непреклонный, он не идет на поводу у других... Приникнув к литературным сочинениям, он трудолюбиво оттачивает на их точиле свою скромность и бескорыстие. Даже получив в удел царские земли, он не ставит это ни в грош. Не подданный он и не служилый. Таковы принципы ученого.

Ученый не погибнет в бедности и бесчестье. Не согнется под бременем богатства и знатности. Его не опозорит государь, не вовлекут в свои интриги старшие и вышестоящие, не приручат власть имущие. Сколь нелепо, что в наше время людей обыкновенных называют учеными!»

Если вспомнить суровую многоступенчатую систему экзаменов на ученые степени, просуществовавшую в Китае около двух тысяч лет, и сопоставить ее с гипотезой акад. Н. Н. Моисеева [150] о чрезвычайной жесткости отбора как объяснении быстроты эволюции неоантропов, становится понятным, почему вышеприведенные строки (в оригинале, разумеется, столбцы) написаны именно китайцем.

К сожалению, заключительная мысль этого отрывка за две тысячи лет актуальности не потеряла. Она в полной мере относится к лжеученым, которые «приватизировали» ученые степени и звания, пользуясь своим служебным положением. В статье д-ра физ.-мат. наук Н. Аруева («СПб. Ведомости», 2.02.2001) приводится длинный список подобных деятелей: министров, председателей думских фракций, членов Совета Федерации, бывших членов Политбюро, удостоенных высоких степеней и даже избрания в Академию Наук по гуманитарным (включая военные) специальностям. Особенно пикантно, что продукты их «творческой» деятельности «хранятся в фондах» и надежно скрыты от научной общественности.

По более свежим данным («СПб. Ведомости», 4.04.2012), более 50 % членов властной «элиты» имеют кандидатские или докторские степени. «Вроде бы надо радоваться тому, какая умная и образованная у нас власть. Но почему-то становится грустно». За последние два года на цивизизованном Западе из-за скандалов со списанными диссертациями пришлось расстаться со своими должностями вице-спикеру Европарламента Сильване Кох-Мерин, министру обороны Германии Карлу цу Гуттенбергу и президенту Венгрии Палу Шмитту. Надеемся, что эта «волна демократии в науке» пересечет российскую границу.

2.2. Мотивация

Психологический анализ мотивации свидетельствует о сложном переплетении в ней мотивов различного порядка. Без внутренней мотивации познающая мысль лишается импульсов к проникновению в свой объект. Дважды нобелевский лауреат Л. Полинг говорил, что «ученый-творец живет ради мгновений открытия». Вместе с тем ведущая роль *внутренней* мотивации не означает отрицания роли внешних по отношению к предметному содержанию деятельности мотивов. Среди них могут быть названы эмоции следующих видов [61]:

- праксические (стремление к достижениям, к успеху, соперничество, жажда одобрения, престиж, стремление сделать карьеру, взять на себя ответственность, самореализоваться, помочь людям, способствовать прогрессу и др);
- гностические (стремление нечто понять, удивление или недоумение, чувство близости решения);
- интеллектуальные (любознательность, любопытство, сомнение, уверенность, любовь к истине, чувство нового).

Праксические эмоции являются наиболее типичными. Но «если общество таково, что девушки предпочитают отпрысков состоятельных семей, футболистов и эстрадных кумиров, то искусство и наука привлекут не много новобранцев» [220, с. 151]. И сейчас, как 2000 лет назад: «Как много людей упражняют тело, и как мало — душу! Сколько народу сбегается смотреть потешное и мимолетное зрелище, и какая пустота возле благородных наук!» (Сенека, [221, LXXX,2]).

В наши дни «имеется немало людей, одержимых комплексом престижности, желанием выделиться потреблением нестандартных благ. В потреблении продуктов питания это относится к употреблению в пищу редких и ценных видов животных, птиц, рыб, растений и т. д; в одежде, обуви, предметах домашнего обихода — к использованию мехов, шкур, костей, рогов исчезающих зверей; относительно жилья, товаров длительного пользования, украшений и т. п. — в стремлении к чрезмерной дороговизне и роскоши, к большим площадям, количеству экземпляров и объемам» (Ю. П. Григорьев, [46]).

Однако с течением времени даже знаменитый спортсмен, преуспевающий бизнесмен или умелый администратор начинают испытывать чувство потерянности и бесцельного дрейфа по реке времени.

«То, что богатство может дать свыше удовлетворения действительных и естественных потребностей, имеет лишь ничтожное влияние на наше истинное благоощущение и довольство. Оно даже скорее отравляет это последнее неизбежными заботами, связанными с сохранением большого состояния... Обыкновенные люди хлопочут только о том, чтобы скоротать время; а если кто имеет какой-нибудь талант — чтобы воспользоваться временем... Из этой-то внутренней пустоты главным образом и проистекает стремление к обществу, к развлечениям, удовольствиям и роскоши всякого рода... Таким образом картежная игра во всех странах сделалась главным занятием всякого общества; она — масштаб его ценности и признанное банкротство всякой мысли» (Шопенгауэр).

Напротив, интеллектуальные наслаждения доступны каждому лишь посредством, а, стало быть, по мере его собственной умственности. Разумеется, любому ученому присущи все три класса эмоций — в разных пропорциях и в зависимости от ситуации. Однако доминантами, безусловно, являются эмоции второй и третьей группы. «Ученость — единственное, что в нас божественно и бессмертно; величайшие преимущества, которыми одарена человеческая природа, — это разум и речь» (Плутарх, [224]). Общеобязательность результатов придает *вечный характер* научным завоеваниям. С другой стороны, в области личной жизни научный поиск тесно связан с совершенно своеобразным и очень глубоким влиянием, какое может оказывать научное искание на понимание человеком смысла и цели своего существования. Подобно религии, он может дать своим адептам прочное и незыблемое *психологическое* положение среди осознанного ими несовершенства и горестей мира [44, с. 123].

Конечно, есть «ученые», работающие ради денег, власти и общественного положения, но для достижения этого существуют более простые и надежные пути. К тому же, «в процессе становления личности меняются мотивы поведения. На каком-то этапе — у одних раньше, у других позже — честолюбие перестает действовать. Оно сгорает и отпадает, как ступень ракеты, после того как космический корабль личности оказывается выведенным на нужную орбиту жизни» [168, с. 164].

Подлинными учеными редко движут подобные мотивы. Если человек искренне увлечен наукой, то его не остановят никакие трудности. Достаточно вспомнить Араго — секретаря Парижской академии наук эпохи Французской революции [128, с. 74–75]. Он был послан измерить дугу меридиана земного шара. Чего только с ним за это время ни происходило! Его брали в плен, продавали в рабство, выкупали за пару львов.

Разбойники чуть-чуть не зажарили его живьем. Араго сажали в разные тюрьмы. Он плыл через Средиземное море в течение трех месяцев. Пережил много бурь. Опять попал в плен. Он прибыл во Францию без сапог и из-за рубашки вытащил сохраненные им вычисления меридиана. На другой день он уже докладывал их Академии наук.

Как точность и надежность механических часов определяются стоящими в них драгоценными камнями, так и деятельность сознательного человека основана на фундаментальных принципах, которые не побоимся назвать идеалами. Именно от идеалов проистекает жизненная сила ученого [177, с. 13]: «Точное попадание судьбы (человек — место — дело) дает уже не человека, но *бога*. Бог же есть совершенство» [84].

Научный труд — один из наиболее сложных видов человеческой деятельности, он требует многолетней предварительной подготовки и особых усилий. Формирование творческой личности требует подолгу оставаться одному. Умение найти себя, способность переносить одиночество, поддерживать психологическую дистанцию по отношению к людям и обстоятельствам, которые могли бы сбить с избранного пути, создают предпосылки внутреннего развития личности, делают целеустремленным духовное обогащение, повышают психическую устойчивость. Сенека [221, LVIII, 32] полагал, что «приятно побыть с собою как можно дольше, если ты сумел стать достойным того, чтобы твоим обществом наслаждались». По Шопенгауэру, «человек, богато одаренный духом, и в совершенном уединении имеет превосходное занятие и развлечение с собственными мыслями и фантазиями, тогда как тупицу не в силах избавить от томительной тоски ни постоянная перемена общества, ни зрелища, ни поездки, ни прочие увеселения». Опять же, по Сенеке, «досуг без занятий науками — смерть и погребение заживо» [LXXXII, 3].

Однако нет ничего более печального, чем неудачник в науке. Даже если человек обладает способностями, но не отдает научной работе все свои силы и мысли, то многого он не добьется. Занятие наукой требует от человека сосредоточения всех душевных и физических сил. Это дается страстью к науке и беспрерывным трудом. Здесь невозможны рассеянная жизнь, частые развлечения; такая работа требует бессонных ночей и многих других жертв. «Смешны те, кто думают в течение трех лет постичь и достичь. Суть не во времени, но в степени устремления» (Агни Йога, [1]). Поразительна актуальность этой древней мысли — и в особенности конкретное упоминание ныне установленного срока пребывания в аспирантуре (докторантуре).

К счастью, чем больше способный человек входит в этот труд, тем больше наслаждения он ему доставляет, тем сильнее разгорается неукротимая страсть к научному творчеству, тем радостнее (но не легче!) становится служение науке. Хочется перечислить 12 ступеней познавания по Агни Йоге [1]: *встревоженный, озирающийся, стучащийся, внемлющий, припоминающий, претворяющий, меченосец, мощный, лампада пустыни, пустынный лев, сотрудник Начал, создатель*. Этот перечень дает богатый материал для размышления и медитации. Попробуйте найти свое стартовое место на этой лестнице, а затем фиксируйте прогресс.

Занятие наукой приносит высшее удовлетворение, доступное человеческому существу. Дж. фон Нейман считал, что открытие новой истины само является величайшим счастьем, и признание почти ничего не может добавить к этому. Ч. Дарвин ставил удовольствие, которое доставляют процессы наблюдения и размышления, выше удовольствий, связанных с ловкостью и спортом.

Мудрецы всех времен отмечали высокую престижность умственного труда. Наука — это особый мир, где каждого ценят только за то, что он сделал, где не могут существовать дутые авторитеты. Наука по сути дела глубоко демократична; в ней «несть иудея, ни эллина» (апостол Павел). По мнению Гельвеция (Избр. соч, т. 1, с. 391), человеку «наиболее лестным должно представляться превосходство наиболее личное, наиболее независимое от случая, и если ему представится выбор между славой ученого и славой военного, он должен предпочесть первую... Не признает ли он, что случай часто возводил на триумфальную колесницу невежество и трусость[1], но никогда не увенчивал главы глупого автора?» Для Демокрита найти доказательство математической теоремы было дороже завоевания персидского царства [137]. Великий русский художник и мыслитель Н. К. Рерих также считал, что «мастер изделия превыше рыцаря меча» («Печать века»). А. Шопенгауэр писал:

> «На честь притязает каждый, на славу — лишь исключения, ибо славу можно стяжать только необыкновенными отличиями. Эти последние проявляются или в *деяниях*, или в *творениях*. По пути деяний преимущественно направляет великое сердце, по пути творений — великая голова... Главная разница в том, что деяния проходят, а творения остаются... Творе-

[1]Верхнюю строчку в иерархической структуре занимает не самая умная и сильная особь, а самая наглая. Трусость и тупость генералов мирного времени автоматически порождаются их отбором внутри иерархии — см. «принцип Питера».

ния сами бессмертны и могут, особенно письменные, пережить все времена. От Александра Великого остались лишь имя да память; но Платон, Аристотель, Гомер и Гораций существуют еще сами, живут и действуют непосредственно. Веды и их Упанишады существуют, а о деяниях, совершенных в их время, не дошло до нас никакой вести».

С этими высказываниями перекликается крупнейший английский математик Г. Харди [248, с. 52–55]:

«Амбиция — благородная страсть, которая на вполне законном основании может принимать многие формы. Нечто благородное было в амбициях Аттилы или Наполеона, но самые благородные амбиции движут теми, кто оставляет после себя нечто, имеющее непреходящую ценность... Математика обладает разработанным до тончайших деталей увлекательнейшим аппаратом исследований и оставляет беспрецедентный простор для проявления высокого профессионального мастерства. Как неоднократно доказывала история, математическое достижение, какова бы ни была его внутренняя ценность, обладает наибольшей "долговечностью" по сравнению с достижениями всех других наук. Мы можем в этом убедиться даже на примере полуисторических цивилизаций. Вавилонская и ассирийская цивилизация пали; Хаммурапи, Саргон и Навуходоносор — ныне пустые имена; тем не менее вавилонская математика и поныне представляет интерес, и вавилонская шестидесятиричная система счисления все еще применяется в астрономии. Но самым убедительным примером служит, конечно, Древняя Греция. Древние греки были первыми математиками, чьи результаты актуальны для нас и поныне... Архимеда будут помнить даже тогда, когда забудут Эсхила, потому что языки умирают, тогда как идеи бессмертны... Вероятно, математик имеет лучший шанс на бессмертие, что бы оно ни означало. Математическая слава, если вы сможете получить ее, одна из самых прочных и долговечных».

Наконец, к сведению молодежи (а также в утешение пожилым соискателям ученой степени) приведем высказывание З. Фрейда:

«Часто исключительное чувство ясности в мыслях, чувство просветления заменяет собой сексуальное удовлетворение».

Сенека считал [221, XII,5], что «всякое наслажденье свой самый отрадный миг приберегает под конец. И возраст самый приятный тот, что идет под уклон, но еще не катится в пропасть».

Эти мысли мы продолжим высказыванием Мишеля Монтеня:

> «Мы любим наших детей по той простой причине, что они рождены нами, и называем их нашим вторым "я", а между тем существует другое наше порождение, всецело от нас исходящее и не меньшей ценности: ведь то, что порождено нашей душой, то, что является плодом нашего ума и душевных качеств, увидело свет благодаря более благородным органам, чем наши органы размножения; эти создания еще более наши, чем дети, при этом творении мы являемся одновременно и матерью, и отцом; они достаются нам (по крайней мере, мужчинам. — *Ю. Р.*) гораздо труднее и приносят нам больше чести, если в них есть что-нибудь хорошее. Ведь достоинства наших детей являются в большей мере их достоинствами, чем нашими, и наше участие в них куда менее значительно, между тем как вся красота, все изящество и вся ценность наших духовных творений принадлежат всецело нам. Поэтому они гораздо ярче представляют и отражают нас, чем физическое наше потомство».

Требования к будущему кандидату высоки, но не запредельны. Обычно испытываемое в начале научной карьеры чувство угнетенности и неполноценности исчезнет, как только вы займетесь работой *всерьез*. Поверьте Аристотелю: «Вкусив от сладкого плода математики, мы уподобляемся лотофагам, ибо, воспользовавшись ею хоть раз, мы не хотим от нее оторваться и она овладевает нами, как цветок лотоса» [137, с. 101]. *Если вы приняты в аспирантуру, то написать диссертацию в срок должны и можете*. Однако нужно сразу осознать специфику ситуации: вы стали соискателем *ученой* степени и должны выполнить *научную* работу, т. е. установить и/или исследовать некоторые *общие* закономерности с применением *формального* аппарата (то, что вы умеете мыслить неформально, само собой разумеется). Важность решенной задачи или ее доведение до конечного результата (прибор, устройство, технология, программа для ЭВМ) сами по себе не дают основания претендовать на ученую степень: для поощрения конструкторов и программистов есть другие способы.

2.3. Обращение к докторантам

Кандидат наук по самому смыслу этого термина является *кандидатом* в ученые. Доктор наук — ученый *настоящий*, быть им гораздо почетнее. Эта степень предполагает намного более высокую квалификацию, чем американская и среднеевропейская Ph. D, которая во Франции официально приравнена нашей кандидатской[2]. Согласно многолетней статистике, в среднем один из десяти российских кандидатов становится доктором наук. В настоящее время соотношение новых кандидатов и докторов наук составляет примерно 8:1 [232, с. 28–29]. В организациях Академии Наук РФ процент ученых высшей квалификации значительно выше. Так, в 1999 г. в Петербурге работали 37 академиков и 77 членов-корреспондентов РАН, 1131 доктор и 3138 кандидатов наук [7, с. 184]. На 1 января 2005 г. в Физтехе было 345 докторов и 620 кандидатов наук [8, с. 256]. В институте, руководимом Л. Д. Фаддеевым, из 100 сотрудников 70 были докторами наук. В целом по академическому сектору 17.7 % исследователей имеют ученую степень доктора наук, 42 % — кандидата.

По словам бывшего председателя ВАК Н. В. Карлова, «доктора наук — это представители племени атлантов, которые держат на плечах наше земное небо. Они прочно стоят на Земле, но своим трудом достигают неба... Наука — это одно из высших достижений человечества. И люди науки, ее доктора — это та земная суть, которая делает нашу планету Планетой Людей» [160, с. 8]. По заверению нового председателя ВАК акад. М. П. Кирпичникова [103], безотносительно к «Болонскому процессу» никаких планов упразднения этой степени в России нет.

Выход на этот уровень связан с преодолением трудностей, специфика которых соискателями докторской степени *априорно* не осознается. Поэтому хочется напомнить им древнекитайскую мудрость: «Малый квадрат — это подобие большого квадрата, маленькая лошадь — это подобие большой лошади, но маленький ум — это не подобие большого ума» (Люй-ши Чунь Цю, [79, т. 2, с. 306]). Кроме того, члены диссертационных советов отчетливо понимают, что с мнением «новопоставленного» доктора им в дальнейшем придется считаться всерьез и надолго, особенно в случае его назначения на руководящую должность. Поэтому *безразличных на докторских защитах не бывает.*

Нижеследующие соображения опираются на мучительный опыт диссертационных советов Военно-космической академии им. А. Ф. Мо-

[2]В Европе имеются такие аналоги нашей докторской степени, как «хабилитированный доктор», «grand doctor», «доктор наук» и др.

жайского и лично автора данной книги по доведению до кондиции *сотен* докторских диссертаций и их авторов.

1. Докторская степень не столько дает права, сколько *налагает обязанности*. Прежде всего это постоянная творческая активность; поддержание своей компетентности на большом интервале времени, в широком диапазоне и на высоком уровне; помощь научной молодежи; участие в нелицеприятной экспертизе и обсуждении чужих работ. Вы уверены, что действительно хотите этого? А что сможете? Стоят ли новые возможности (какие?) затраченного труда и нервов?

2. Отбытие вами срока докторантуры само по себе *не обязывает* совет присудить вам искомую степень. Положительное решение расширенного семинара, принятие работы к защите, тщательно организованные благоприятные отзывы (кстати, добиться всего этого не просто) отнюдь не гарантируют положительного исхода последней.

3. Уровень докторской диссертации — *принципиально иной*, чем кандидатской. Простое добавление к вашей кандидатской диссертации новых результатов того же класса (в частности, полученных учениками и подчиненными), увеличение объемов реализации и числа публикаций, в особенности выступлений на ведомственных конференциях, на этот уровень не выводят. Доктор наук — фигура *объемная* в том смысле, что полученные им результаты характеризуются:

- *глубиной* (нетривиальностью, строгостью постановки и решения задачи, совершенством математического аппарата или постановки эксперимента, логической завершенностью, тщательностью обработки результатов натурных или модельных экспериментов);
- *широтой* охвата проблемы, постановки задач, разнообразием использованных аналогий, приемов исследования и применений результатов, комплексной оценкой их эффективности;
- *высотой* моральных качеств соискателя, проявившейся, в частности, в том, что он:
  - имеет *реальные научные заслуги*;
  - основные результаты диссертации получил *лично* (в списке трудов обязательно должны быть значительные работы, выполненные *без соавторов*);
  - объективно охарактеризовал состояние вопроса, воздал должное своим предшественникам, соавторам и конкурентам, а также научному руководителю (консультанту);

– отметил не только достоинства, но и недостатки предложенных решений и дал их сбалансированный анализ;
– проверил работоспособность своих предложений в условиях, которые могли бы указать на допущенные ошибки, неточности, неполноту и т. п., и в сопоставлении с альтернативными подходами.

Отметим, что невыполнение хотя бы одной из этих групп требований приводит к «вырождению» фигуры и дает *нулевой* объем. Выставление этих требований не должно застать вас врасплох. Не воспринимайте их как направленные *против вас лично*: они предъявлялись, предъявляются и, надеемся, будут предъявляться всем соискателям этой высокой степени.

На защиту, кроме диссертации, может быть представлена совокупность научных работ или написанная без соавторов монография. Принципиальная позиция советов и ВАК состоит в том, что эта оговорка относится только к *форме предъявления* научных результатов, а подход к их оценке по существу остается прежним. Он проявляется *в единых требованиях* к оценке диссертации в Заключении диссертационного совета. Докладчик должен убедить совет в том, что все они выполнены. В частности, руководство крупной ОКР или программой, хотя бы и всероссийского масштаба, без личного *творческого* вклада соискателя не дает оснований для претензий на докторскую степень. Заслуги организаторов таких работ должны вознаграждаться иными способами (премии, внеочередные воинские и специальные звания, почетные звания, ордена, продвижение по службе).

Обязательным требованием к докторским диссертациям является *системный подход* к исследуемой проблеме. Системный подход требует рассматривать объект как целостное образование, не сводящееся к сумме своих составных частей и обладающее принципиально новыми свойствами или возможностями (эмерджентность). Это основной аспект вышеупомянутой широты. Ваша задача — не поговорить о его важности и не описывать (в сотый раз) идею, а *применить* его (еще лучше — развить)[3]. То же относится к вопросам оценки эффективности.

[3]К сожалению, типично мнение, что «системный подход в наше время (и даже не сам подход, а только упоминание, только воспевание его) совершенно автоматически вывозит в доктора наук каждого, кто в детстве не болел полиомиелитом» [152].

В заключение этого раздела хочется обсудить судьбу докторанта после успешной защиты. Он снова окажется на развилке жизненного пути: придется выбирать между занятием любимым делом (наука и педагогическая работа) в основном или урывками — во главе коллектива, отягощенным чужими проблемами, на фоне заседаний и административной суеты. Предполагается, что новоявленный доктор к этому моменту хорошо уяснит, что его влечет и на что он годится, — в плане научном, но не «руководящем». Приобретя жизненный опыт и на «высшем» плане, он должен снова вернуться к проблеме выбора. «Конфуций и Мо Ди стали правителями, не имея земли, стали начальниками, не имея подчиненных» [132, с. 231]. Правда, во времена Французской революции астроном Байи был мэром Парижа, Монж — морским министром, математик Л. Карно возглавлял оборону Франции [57, с. 284]. Однако участие в политике стоило жизни Байи, Кондорсе и Лавуазье. Лаплас явно не справился с должностью министра внутренних дел при Наполеоне и, по воспоминаниям императора, «весь был проникнут духом бесконечно малых, который он вносил и в администрацию» [57, с. 297]. А. Н. Крылов ушел с генеральского поста председателя Морского технического комитета, хлопнув дверью. Э. Ферми всю жизнь отказывался занимать административные должности [176, с. 34]. Г. Селье призывал ученых «не увязнуть в оставшихся частностях, в административной и педагогической работе. Не одалживать свое имя, не тратить время на сидение в советах и президиумах».

Как правило, первое значительное научное достижение дает направление всей последующей работе автора. Решив какую-нибудь задачу, всегда следует предпринять поиски новых. По мнению Д. Пойа [179, с. 43], «хорошие задачи похожи на некоторые грибы: они растут группами». Найдя один гриб (или задачу), оглядитесь вокруг. Зная такие средства видоизменения задачи, как обобщение, специализация, аналогия, разложение и составление новых комбинаций, обычно сравнительно легко поставить и решить несколько новых. Добавим к этому, что на «грибное место» имеет смысл вернуться и по истечении некоторого времени — в новых условиях, с новыми опытом и знаниями.

Пока тема движется хорошо, за нее следует держаться. Когда проблема исчерпает себя, наступит «меланхолия завершения» (Ф. Ницше). Уважающий себя ученый не станет пробавляться частностями и публикациями в ведомственных сборниках совместно с учениками. Потребуется очистить ум и лабораторию для новых исследований. Но каких? В таком случае лучше «лечь на грунт» и попытаться развить

одно из перспективных боковых ответвлений первоначальной темы — сохраненные запас знаний и ассоциации помогут относительно быстро восстановить продуктивность. Возьмите пример с Л. Эйлера, для которого в петербургской Академии сначала не нашлось «математического» места. Будучи зачислен адъюнктом по физиологии, он принялся изучать... гидродинамические проблемы кровообращения [57, с. 210].

Энтузиазм и стремление достичь совершенства в своей области могут быть столь всепоглощающи, что человек рискует превратиться в высокоспециализированное подобие робота. При возникновении такой угрозы нужно озаботиться развитием своей личности в гуманитарном спектре направлений. Читайте беллетристику в *точном* смысле этого слова («изящная словесность»), стихи; слушайте классическую музыку.

2.4. Ученик, Учитель, коллектив

Воспитание научных кадров можно уподобить автокаталитической реакции, когда для образования какого-либо вещества требуется присутствие этого же вещества. Этот раздел мы начнем с цитаты из акад. Н. Н. Моисеева [151, с. 255]:

> «В системе "Учитель — ученик" центральной фигурой является сам учитель. В эпоху ноосферы его личность станет играть решающую роль... Я убежден, что в том новом состоянии человечества, которое сможет обеспечить выполнение требований экологического императива, создав новые формы нравственности, учитель сделается центральной фигурой в обществе. Я даже думаю, что каждый человек, претендующий на роль руководителя в любой сфере человеческой деятельности — политической, хозяйственной, военной (военачальники, наверное, еще долго будут существовать на планете), — должен показать себя способным учителем... Быть талантливым учителем, передавать другим свои знания, свой опыт, а особенно свое ви́дение мира и свои нравственные начала, преодолевать агрессивность и сеять добро, как говорилось в старину, куда труднее, чем быть политиком, хозяйственным руководителем, генералом».

Аспиранты должны быть заинтересованы главным образом в освоении *не результатов чужой работы, но способов их получения*, т. е. в овладении *духом* Науки. Квинтэссенцией этого духа всегда считался

Учитель. «Учитель входит в жизнь, но не являет обывательство. Учитель украшает спор, но не удлиняет его. Сожалеет, но не оплакивает. Защищает, но не машет руками. Благодарит, но не забывает. Оценивает побуждения, но не являет слабости... Так берегите Учителя, явленного на развитие духа» [1]. Учитель воспитывает и обучает смену, щедро делится знаниями и умением: «Чей дом заполнен знанием, тот не боится отрезать ломоть мысли»; указывает перспективы и новые пути: «Туман стелется у подножья горы, но вершина всегда чувствует луч солнца».

Александр Македонский восхищался Аристотелем и, по его собственным словам, любил учителя не меньше, чем отца, говоря, что Филиппу он обязан тем, что живет, а Аристотелю тем, что живет достойно. С глубочайшим уважением относились к своим учителям древние китайцы [79, Ли Цзи, т. 2, с. 113]:

> «Когда благородный муж учит и наставляет, он ведет, но не тянет за собой, побуждает, но не заставляет, открывает, но не доводит до конца. Поскольку же он ведет, а не тянет, между ним и учеником царит согласие. Поскольку побуждает, а не заставляет, учиться легко; поскольку лишь открывает путь, но не доводит до конца, ученик думает. Согласие между учеником и учителем, легкость обучения, самостоятельные размышления — вот что называется умелым руководством».

Диссертационная работа выполняется под наблюдением и с помощью руководителя, но *самостоятельно*. Научный руководитель контролирует выполнение индивидуального плана, дает первичное заключение о возможном переводе аспиранта на следующий курс. Его слово является решающим при ежегодном аттестовании аспиранта, которое проводит кафедра (отдел, сектор, лаборатория). В отличие от руководителя, *консультант* соискателя докторской степени не участвует в его работе непосредственно, но по мере необходимости оказывает ему помощь.

Задача руководителя состоит в том, чтобы научить аспиранта критически мыслить и работать, отличать существенное от второстепенного; контролировать правильность и обоснованность суждений; обучить технике работы; своевременно исправлять ошибки; оценивать предлагаемые методики и т. д. Счастлив молодой ученый, руководителем которого окажется настоящий Учитель с большой буквы, озабоченный не выполнением учебного плана, а обучением и главным образом — воспитанием доверенных ему молодых людей. Б. В. Гнеденко [60, с. 71] пишет:

> «Самоотверженный руководитель, полный свежих идей, всегда готовый помочь, но не сделать за тебя, является редкой жемчужиной даже в прославленных университетах. Их нужно беречь и облегчать им существование, чтобы всегда наша талантливая молодежь могла получить достойного научного руководителя. Я счастлив, что мне на моем жизненном пути встретились такие замечательные ученые и личности, как А. Н. Колмогоров и А. Я. Хинчин, с которыми можно было обсуждать любой научный, педагогический и личный вопрос и всегда получать продуманный совет».

Исключительно тепло вспоминает о своих учителях А. Ф. Иоффе и Э. Резерфорде нобелевский лауреат П. Л. Капица [96]. Многие властители дум поколения шестидесятников, например И. А. Ефремов, Н. Н. Моисеев, братья Стругацкие, оказывались едиными во мнении, что центральной фигурой цивилизации будущего станет Учитель [107]. Однако кандидат в ученые должен иметь в виду высказывание известнейшего эзотерика Г. И. Гурджиева: «*Чтобы стать учеником Христа, необходимо находиться на уровне апостолов*» [217, с. 65].

Руководитель может лишь создать благоприятную обстановку для роста молодого ученого. Само же превращение вчерашнего студента в настоящего ученого — дело самого научного работника.

Перечислим типичные плюсы и минусы — для диссертанта — различных категорий руководителей.

Заслуженный доктор обладает широкой эрудицией, большим научным и житейским опытом, терпением, чувством меры, является первоклассным методистом. Он пользуется большим авторитетом в совете, и его имя на титульном листе диссертации почти гарантирует ее успех. У такого руководителя вы сможете получить неоценимые советы по широкому кругу вопросов и многому (не сразу осознавая это) научитесь; полученные в соавторстве с ним результаты легче опубликовать. Недостатки такого руководителя (*с точки зрения соискателя*):

- его личные научные интересы обычно не являются «остромодными» и относятся к устоявшимся направлениям;
- получаемые от него указания скорее всего будут общего и развивающего характера (вы бы предпочли конкретность);
- видеться с ним вы сможете далеко не каждый день;

- деловые контакты, необходимые для получения отзывов и актов внедрения, придется налаживать в основном самостоятельно.

Молодой доктор — это, как правило, энтузиаст своей (обычно сравнительно узкой) области науки, хорошо знакомый с ее текущим состоянием, полный идеями, энергичный, контактный, не остывший после собственной защиты. Часто это молодой заведующий кафедрой, перегруженный административной суетой и научными и педагогическими проблемами — не только собственными, но и целого коллектива. С ним у вас не будет организационных трудностей. Недостатки:

- видеться с ним вы сможете часто, но контакты будут краткими;
- весь задерганный и остро озабоченный дефицитом на кафедре «остепененных» кадров, он скорее всего поставит вам задачу с почти очевидным (или даже известным ему) решением. Диплом кандидата вы получите, но это будет потолком научной карьеры, поскольку за время аспирантуры вы не разовьете в должной мере свои способности;
- в связи с дефицитом докторов их часто назначают заведовать непрофильными кафедрами. Тогда работа по его специальности в этом коллективе бесперспективна, по специальности кафедры — потребует обучать шефа. Благодаря тренированному интеллекту он быстро войдет в курс дела — но не до тонкостей. Он поймет, что вами сделано, но не сможет оценить новизну и значимость вашего вклада в науку, дать совет *по существу*.

Молодой докторант — это честолюбивый и энергичный ученый, которому нужны помощники для разработки частных проблем его собственной докторской диссертации. Соответственно, у вас будет руководитель с максимальной (но узкой) компетентностью, налаженными внешними связями и личной заинтересованностью в ваших результатах. Недостатки этого варианта:

- вряд ли он сможет научить вас *методике* научной работы и оформлению результатов исследования — этому он учится сам;
- есть риск, что вас нацелят на поисковое исследование в направлении, которое окажется тупиковым;
- направление может оказаться имеющим смысл только в широком контексте готовящейся докторской диссертации; в случае задержки

с таковой ваша часть работы будет выглядеть плохо обоснованной и незавершенной, а результаты будет трудно внедрить;

- вам может быть поручена работа, которая в итоге окажется не имеющей самостоятельной теоретической ценности.

Старый докторант — скорее всего, честолюбивый псевдоученый, которому докторская степень нужна для последнего взлета карьеры. Никаких плюсов для аспиранта этот вариант не имеет. Такой руководитель вас просто использует.

Старый доцент, руководящий аспирантами, — это квалифицированный ученый, которому скромность, упущенный момент, недостаточная целеустремленность или домашние обстоятельства помешали написать и защитить докторскую диссертацию. По своей эрудиции он может не уступать молодому доктору, а по методической подготовке — его превосходить. Такие люди пользуются заслуженным уважением в данном коллективе и в совете, часто приглашаются в официальные оппоненты. Руководитель этого типа сможет уделить соискателю достаточно бескорыстного внимания и оказать значительную помощь. Единственный минус здесь — возможная потеря таким доцентом интереса к новостям в науке, так что соискателю придется самостоятельно прорываться на ее передний край.

Имеются поучительные классификации ученых и с других точек зрения[4]. Гоу и Вудворт [112, с. 64], а также А. Кац [36] выделяют фанатиков, пионеров, диагностов, эрудитов, техников, эстетов, методологов, индивидуалистов. По Г. Селье [220], бывают:

- делатели (собиратели фактов, усовершенствователи);
- думатели (книжный червь, классификатор, аналитик, синтезатор);
- чувствователи (крупный босс, хлопотун, рыбья кровь, самолюбователь, агрессивный спорщик, первостатейная акула, святой, святоша, добрячок).

Идеальным руководителем Селье считает «тип Фауста»:

> «Чистого ученого философского склада отличает религиозное преклонение перед природой и глубокое убеждение в ограниченности возможностей человека при исследовании ее тайн.

[4] К сожалению, все они линейны и выделяют только одну доминирующую особенность личности.

Он мудр и сочувствует человеческим слабостям, но его доброта не доходит до потакания нарушениям дисциплины, недобросовестности в работе или любой другой форме поведения, несовместимой с его призванием. Его несколько романтическое отношение к исследовательской работе можно назвать эмоциональным, но не сентиментальным. Его главными характеристиками являются: воодушевление от возможностей исследования, а не от собственных возможностей; уважение к интересам других; удивительная способность к выделению наиболее значимых фактов; острая наблюдательность; отсутствие ослепляющего предубеждения к людям и научным данным; железная самодисциплина; редкая оригинальность и воображение, соединенные со скрупулезным вниманием к деталям как в технике лабораторной работы, так и при логическом осмыслении результатов.

Его не ломает неудача, не развращает успех. Рано определившись в жизни, он следует твердым курсом, не поддаваясь сомнениям, искушению, страху и даже успеху».

Далее Селье отмечает, что «идеалы создаются не для того, чтобы их достигать, а для того, чтобы указывать путь».

При первой встрече с руководителем необходимо обосновать свое намерение работать именно с ним, установить хорошие личные взаимоотношения и взаимопонимание, сразу же условиться о выполнении небольшой конкретной работы с оговоренным сроком окончания. Лучший путь обучения — стать по крайней мере на некоторое время ассистентом руководителя, что позволит вам непосредственно перенимать его опыт и стиль работы. Не опасайтесь оказаться «рабочей силой» — в этом качестве вы получите гораздо больше, чем затратите. Не бойтесь, что руководитель присвоит ваши результаты: вряд ли он на них польстится. Скорее он подарит вам свои, поскольку ему нужно выполнять план подготовки кадров. Советы и указания руководителя не должны переходить предела, за которым начинается соавторство.

Старайтесь сделаться его коллегой и разведчиком в науке[5]. Сообщайте ему планы и результаты ваших наблюдений и расчетов: научный руководитель должен контролировать воспроизводимость опытов, достоверность и надежность результатов, предостерегать от поспешных выводов. «Образовывайте» его новинками литературы и приятно удивляйте

[5]Л. Д. Ландау сам не читал научной литературы — ее читали его ученики, и интересовался только основной идеей новой работы. Если работа его заинтересовывала, он сам (и часто своим путем) проводил математический вывод [96, с. 302].

собственными мыслями. Берегите затрачиваемое на вас время руководителя, который расходует его не только собственно на консультации, но и на мысли об аспиранте, его теме, подготовку к консультациям, чтение и конструктивную критику написанного вами.

Зависимость от руководителя — подсознательный источник неудовлетворенности работой. Постепенно наращивайте самостоятельность. Наличие руководителя не исключает консультаций других ученых. Следует чаще общаться с другими аспирантами.

Возможности выбора руководителя у соискателя может и не быть. В таком случае приведенные классификации помогут ему определить, на что он может реально рассчитывать и какие дополнительные проблемы придется решать самостоятельно. Если он поступает в аспирантуру родного вуза с конкретным прицелом, то должен «начать целиться» заблаговременно: произвести на предполагаемого руководителя благоприятное впечатление в период обучения, сделать под его руководством студенческую работу, поддерживать научные контакты после выпуска, попросить тему для вступительного реферата. Искреннее и *доказанное делом* желание заниматься наукой никогда не рассматривается как карьеризм. Таким людям охотно идут навстречу.

Иногда исследователей подбирают для решения конкретной задачи. Бывает и наоборот — тему подбирают для диссертанта. В обоих случаях имеет место деловой подход: обеспечить максимальный эффект научного исследования и в наибольшей степени содействовать повышению квалификации молодого специалиста. Не надо гнаться за «модой» — научная мода, как и любая другая, быстро проходит. В качестве примера можно привести проблему надежности программного обеспечения: многочисленные математические модели надежности программных комплексов [201] могли подгоняться под прошлый опыт, но не имели реальной прогностической силы и конструктивных следствий. Полезными оказались только рациональная организация труда, технологическая дисциплина и программная оснастка.

При выборе темы и метода исследований, а также при подготовке к защите обязательно пользуйтесь советами руководителя и старших коллег. Об этом приходится писать потому, что научная молодежь недооценивает роль опыта и интуиции в решении научных проблем, плохо представляет себе процедуру защиты, не знает требований совета (с учетом его *персонального* состава) и ВАК. Чаще представляйте вашу работу или отдельные разделы ее для просмотра руководителю или консультанту, обязательно в отпечатанном и отредактированном виде: она будет

прочитана быстрее и более внимательно. Всякий раз прилагайте общий замысел (оглавление) работы и резюме предыдущих контактов (принципиальные замечания и предпринятые вами действия). Имейте в виду: «если последуете половине совета, не получите полное следствие» [1].

Как показал опыт, *научные достижения нельзя дарить*. Вознаграждение за помощь не должно принимать форму незаслуженного соавторства и в долгосрочном плане вредно обеим сторонам.

Наконец, помните, что руководитель и кафедра готовы вам помочь, но не сделают работу за вас — *наполнить чашу достижений ученик должен сам*. Они заинтересованы в комплектовании коллектива *работоспособными* членами, дорожат своей репутацией и не выпустят на защиту явный брак.

2.5. Работа в коллективе

2.5.1. Специфика коллективной работы

Несмотря на все могущество и силу нашего мозга, последний так же ограничен, как и мускульная сила человека, и, соответственно, тоже нуждается в помощи, в инструментах и в специальной системе коллективных связей и коллективных действий. История науки донесла до нас яркие примеры плодотворного сотрудничества: Маркс и Энгельс; Пьер и Мария Кюри; Харди, Литтлвуд и Рамануджан; А. и Б. Стругацкие.

Современная наука, как правило, делается продуманно организованными коллективами. Труд ученых, который в прошлом был трудом одиночек, подобным по существу ремесленному труду, на наших глазах превратился в разновидность индустриального труда с характерными для него массовостью, подчинением больших коллективов единой цели и глубоким разделением функций между занятыми в нем людьми. Работу в науке сравнивают с процессом создания мозаичного панно: каждый должен изготовить и вставить свой кусочек смальты. Успех Манхэттенского проекта был обусловлен не только блестящим подбором исполнителей, но и четкой *организацией* научных исследований. Коллектив должен увеличивать силы участников, не подавляя их индивидуальность.

Естественно, что на индивидуальности накладываются некоторые ограничения. Антропологи считают [151, с. 137], что у неандертальцев в сравнении с кроманьонцами были более развиты те доли мозга, которые ответственны за агрессивность. Им было труднее согласовывать атавистические устремления мужских особей разделываться с себе

подобными и соотносить свои потребности и желания с потребностями всего рода или племени. Неандертальцы гораздо хуже подчинялись общеплеменной дисциплине, а действие различных запретов было значительно менее сильным, чем у кроманьонцев. Поэтому в их ордах не могло возникнуть достаточного внутреннего согласия и расположения к ближнему. Это в конечном счете и привело к их вымиранию.

Положительными сторонами работы в коллективе являются:

- облегчение поддержания объема и актуальности знаний. Можно, например, совместно вести общелабораторную картотеку научных работ; разделить просматриваемые журналы; организовать общий фонд рефератов, ксерокопий и переводов;
- возможность быстрого получения консультаций по проблемам высшего уровня сложности;
- возможность успешной работы на стыках наук и выполнения комплексных исследований — освоение таких областей часто оказывается не под силу одному человеку;
- широкий круг общения на междисциплинарных школах и семинарах;
- легкость контактов с потребителями научной продукции;
- облегчение проблем финансирования и внедрения.

В статье И. И. Леймана из сборника [157] описана организация комплексных исследований в Институте физиологии (г. Колтуши). В лаборатории дыхания «иноспециалисты» составляют треть персонала, в лаборатории физиологии речи — 2/3 (физики, лингвисты и др.). Здесь разработана программа кандидатского экзамена, охватывающая пограничные области и смежные науки. Она же используется для ввода в строй новых сотрудников. Другими примерами являются биологический отдел в Физико-техническом институте, группа математической лингвистики в петербургском отделении Института языкознания.

Принято считать, что в любом деле 80% результата дают 20% исполнителей (принцип Парето). По Н. Винеру [217, с. 125], в науке это соотношение заменяется на 95:5. Однако коллектив состоит не только из гениев — обязательно нужна *среда*, и предполагается, что все его члены вносят посильный вклад в общее дело. Соискателю первой ученой степени вряд ли поручат организовывать крупную работу, но участвовать в

таковой ему придется наверняка. Поэтому он должен знать *неформальную* структуру научного коллектива (формальная определяется штатным расписанием) и найти свое место в ней.

Каждая научная работа всегда является комплексной не только по кругу решаемых проблем, но и по фазам их решения, которые, вообще говоря, требуют от исполнителей разных способностей и склада ума. Соответственно, проекту нужно гармоничное сочетание достоинств:

- «творцов» — для генерации базовых идей;
- «критиков» — для обсуждения этих идей, обзоров и прогнозов;
- аналитиков — для их математической и физической проработки;
- исполнителей разного уровня и специализации — для реализации выдвинутых концепций на ЭВМ и «в металле»;
- администраторов — для внутренней и внешней координации и функций обеспечения.

Разумеется, возможно и желательно сочетание нескольких ипостасей в одном лице. При коллективной работе происходит обмен идеями, взаимообогащение и взаимообучение. Роль нужно выбирать по знаниям и умениям, которые должны быть предварительно оценены коллективом. В связи с этим уместно вспомнить о «правой руке» Т. Д. Лысенко — Презенте, который предлагал Н. В. Тимофееву-Ресовскому свои услуги для осмысливания его экспериментов (см. «Зубр» Д. Гранина).

Часто путают приятельские отношения с товарищескими. В основе истинного товарищества всегда лежит высокое чувство, мысль. Практическим проявлением истинного товарищества является взаимное воспитание [177, с. 24]. Опять же вспомним древних китайцев:

> «Кто поднялся на цыпочки, не может долго стоять. Кто делает большие шаги, не может долго идти. Кто сам себя выставляет на свет, тот не блестит. Кто сам себя восхваляет, тот не добудет славы. Кто сам себя возвышает, не может стать старшим среди других... Все это называется лишним желанием и бесполезным поведением. Таких ненавидят все существа».

(Дао Дэ Цзин, [79, т. 1, с. 122]).

Любой научный лидер должен иметь *команду*. Зрелый теоретик не должен делать того, что в состоянии сделать инженер, лаборант или машинистка. Не следует недооценивать *научно-вспомогательную* работу

— прежде всего потому, что без нее не будет выполнена и основная. В особенности это относится к экспериментальным исследованиям, немыслимым без помощи стеклодувов, механиков, радиомонтажников, инженеров, программистов. Экспериментатор обязан приобрести некоторый минимальный объем навыков в соответствующих областях — хотя бы для того, чтобы находить общий язык со специалистами и знать их реальные возможности. Известно [176, с. 34], что классик теоретической физики Э. Ферми был неплохим стеклодувом и программистом.

2.5.2. «Болезни» коллектива

Коллективная работа имеет и свои минусы. Формальные отношения соподчинения могут вступать в противоречие с реальной иерархией (неформальные лидеры), что становится постоянным источником конфликтов.

Повышаются требования к личной ответственности и научной добросовестности. Уход обиженного сотрудника дефицитной специальности может задержать работу коллектива на несколько лет — до воспитания нового; поэтому все должны иметь перспективы профессионального и служебного роста.

Руководитель комплексной работы должен обладать широкими знаниями, способностью разрабатывать общую стратегию комплексного исследования, осуществлять перевод с языка одной науки на язык другой. П. Л. Капица неоднократно сожалел о временах, когда директорами назначали академиков (теперь — академиками делают директоров). К сожалению, большинство руководителей не понимает, что *в науке управлять — это значит не предписывать, а создавать условия.*

При всех очевидных плюсах коллективизм в науке может порождать манипуляции руководителей, безответственность, интриги, сплетни, доносы. Причиной болезни коллектива часто служит формирование научной организации или подразделения «сверху вниз», когда некомпетентный руководитель подбирает себе подчиненных «пониже ростом», или «стрижка купонов» с прежних достижений. По акад. А. Б. Мигдалу [144, с. 79–80], «как только научный работник перестает работать своими руками, делать измерения, если он экспериментатор, вычисления, если он теоретик, начинается "старение" независимо от возраста и чина. "Стареющий" теряет способность удивляться и радоваться каждому малому шагу, не жаждет больше учиться; вместе с чванством и важностью возникает стремление решать только мировые проблемы. Число публикуемых в единицу времени работ резко возрастает... Научное

содержание сменяется рассуждениями общего характера, увеличивается описательная часть статей, уменьшается количество формул. Участие в большом количестве публикаций — настораживающий признак».

В [10] подробно описана типичная «история болезни» НИИ при физическом факультете МГУ. К сожалению, такая болезнь не уникальна и не является исключительной особенностью переходного периода. Акад. Л. И. Седов [218, с. 343] обобщает более современный материал: «бывают случаи, когда отдельные известные профессора оказывают поддержку и окружают себя малоквалифицированными, посредственными научными работниками, главная заслуга которых состоит в слепой преданности и восхвалении своего патрона. В результате на ненаучной основе создается сплоченная клика, которая захватывает командные и руководящие посты; их общий низкий уровень приводит к снижению научного уровня целой отрасли науки, служит серьезным тормозом в деле выдвижения действительно даровитых молодых людей... В некоторых исследовательских институтах злоупотребляют всякими заседаниями и совещаниями, на которых произносятся весьма общие и малоконкретные доклады и речи». В таких организациях «все большее число штатных единиц общество заполняет "небелковыми" соискателями, поскольку автоматы более исполнительны и экономичны» [170].

П. Л. Капица в [96, с. 206] также проводит биологические аналогии, отмечая у научного коллектива старческие явления: обжорливость (поглощает больше средств, чем может полезно освоить); старческие клетки (подразделения и отдельные лица), не принимающие участия в продуктивной деятельности; старческую болтливость (малоценные публикации); утрату способности к размножению «почкованием»; слабеющее восприятие нового.

В этой ситуации для достойного ученого выходом могут служить «невидимые колледжи», конференции, симпозиумы — или входная дверь организации.

2.5.3. Обсуждение результатов

Полученные в ходе коллективного исследования результаты обычно обсуждаются в неформальной обстановке или на рабочих семинарах (см. разд. 3.6.). В ходе опровержения доказательства происходит как «рост понятий», так и рост квалификации участников дискуссии. Обсуждаться должны *конкретные* и *аргументированные* предложения и результаты, а не призывы «искать новые пути в науке» [10, с. 105].

Борьба с дилетантизмом не потеряла актуальности и в наши дни. Поэтому важно знать признаки «великого открытия» [144, с. 70]:

1. Перевороту подвергается не конкретный вопрос, а все результаты современной науки.

2. Автор не имеет профессиональных знаний в данной области.

3. Никогда не цитируются современные научные работы.

4. Никаких работ меньшего масштаба у автора не было.

Лжеученый не любит «мелочиться», он решает только глобальные проблемы — по возможности такие, которые не оставляют камня на камне от всей существующей науки.

Отличительная черта науки — новизна и оригинальность, т. е. *девиантность* (в других сферах ценится конформизм). Поэтому подобные дискуссии всегда насыщены критикой. Обсуждения в широком кругу специалистов укрепляют демократические начала вследствие выравнивания информационной обеспеченности верхов и низов, возможности высказываться независимо от социального статуса и формальных авторитетов. Если научная ценность работы определяется не приказом администратора, а общественным мнением научных коллективов, вероятность ошибочной оценки минимальна. Мнение научной общественности выявляют не по большинству голосов. Вся история науки показывает, что отдельные личности (научные еретики) бывали более правы в своих утверждениях, чем целые корпорации ученых или сотни и тысячи исследователей, придерживающихся господствующих взглядов [45, с. 230].

Претензии на ниспровержение или углубление основ редко оказываются состоятельными. Отделение математики и естественных наук АН СССР в дискуссии 1930-х гг. о теории Н. П. Кастерина «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики» отнесло эту теорию к разряду «натурфилософских», главная цель которых — объяснить, как «на самом деле» все устроено [10, с. 176–178][6]. Было отмечено, в частности, что работы Кастерина прямо противоречат основам не только новой, но и классической физики, причем положениям, твердо установленным опытом, а аргументация является вненаучной и содержит главным образом ссылки на устаревшие работы признанных авторитетов (Томсон, Лоренц, Фарадей) и «партийное прикрытие» трудами В. И. Ленина.

[6]Для большинства ученых натурфилософия стала символом напыщенных нелепых спекуляций, произвольно обращающихся с фактами [181, с. 139].

В заключение этого раздела о критическом обсуждении результатов мы отметим необязательность переноса критики на *личные* отношения и приведем еще три цитаты из книги акад. Л. И. Седова [218].

«Ученый должен быть высоко требователен не только к себе, но и к своим коллегам. Последнее не всегда легко».

«Когда безграмотность и ошибочность рассматриваемых предложений очевидна, об этом надо сказать ясно и недвусмысленно».

«Критика неудобна многим руководителям — даже тогда, когда они с ней согласны, и так как они должны принять меры, чего не хотят или не могут сделать».

2.6. Логика и интуиция

Творчество в рамках теории состоит в создании, преобразовании и применении ее многочисленных компонент, установлении и нетривиальном использовании их свойств и взаимосвязей.

Различают мышление репродуктивное (практическое, конкретно-образное и словесно-логическое) и продуктивное (творческое). В первом случае преобладают стереотипные способы достижения цели. Во втором новый оригинальный результат получается при внезапном нахождении решения. Такое решение подготовлено знаниями, прошлым опытом творческой мыслительной деятельности и существенно зависит от познавательной потребности и эмоционального отношения к ее реализации. «Тайной творчества гения навсегда останется отыскание новых проблем, нащупывание новых теорем, несущих важные результаты и соотношения. Без создания новых точек зрения, без постановок новых целей математика во всей ее логической строгости могла бы исчерпаться и застыть, использовав весь материал. Развитию математики содействуют скорее те, кто выделяется не столько строгостью своих доказательств, сколько своей интуицией» (Ф. Клейн, [137, с. 116]).

2.6.1. Психофизиологические основы

Нормальный мозг — «орган, посредством которого мы думаем, что мы думаем» (А. Бирс) — успешно функционирует только во взаимодействии обоих его полушарий. Специализация полушарий указана в заимствованной из [242, с. 27] табл. 2.1 (с переупорядоченными строками).

Таблица 2.1. Функциональные различия полушарий головного мозга

Левое	Правое
Детальное восприятие	Целостное, образное восприятие
Хронологический порядок	Текущее время, синхронное с физическим
Деформация временной шкалы (растяжение и сжатие)	Синхронизация биоритмов с внешними периодическими процессами
Чтение карт и схем	Конкретное пространство, ориентация на местности
Запоминание имен	Узнавание лиц
Запоминание слов	Узнавание образов
Речевая активность, чувствительность к звукам, смыслу	Восприятие эмоционального состояния людей, интонаций
Ви́дение мира эйфорическое	Ви́дение мира мрачное

Более детальная и отчасти противоречивая локализация интересующих нас психических функций мозга обсуждается в [25, 61, 250, 253]. Считается, что *левое* полушарие моделирует предмет, явление; несет в себе активность, восторженность; ориентировано на будущее, интуицию, анализ положительного прошлого, самоанализ. Характер деятельности левого полушария — аналитический. Левое полушарие обрабатывает информацию дискретно и последовательно, выделяя признаки, изолированные формы — от отдельных черт и элементов к целому. Оно же производит «свертывание» умственных действий, классификации. С этим полушарием связаны речевой слух, чтение, письмо, координатное пространственное представление, положительные эмоции, восприятие смешного[7].

Тип левополушарного аналитического мышления возобладал в человеческом обществе в процессе становления современной цивилизации. Тогда это было связано с вопросом выживания общества, так как простое накопление фактов не позволяло делать реальные прогнозы жизненно важных явлений: информацию нужно было научиться *анализировать*. Доминирование левого полушария способствует тяготению к формально-логическим методам решения творческих задач.

Правое полушарие схватывает физическую сторону предмета или явления. Оно обрабатывает информацию одновременно, синтетически, формируя полный образ из фрагментов; превосходит левое в восприятии и построении объемных связей и узнавании сложных конфигураций и построений, в основном зрительных, иероглифической письменности, в восприятии связей между компонентами и всей конфигурацией. Личности с преобладающим правополушарным мышлением в большей

[7]Вероятно, именно поэтому чувство юмора сильно коррелировано с интеллектом и считается обязательным для ученого.

степени склонны к реализации подсознательных механизмов творчества, одним из которых, в частности, является интуиция.

Относительно локализации и работы *памяти* существуют различные мнения. По данным [167, с. 73], пропускная способность непосредственной памяти 13–15 бит/с при емкости 150 бит. Она способна сохранять информацию 10–15 с, после чего лишь незначительная ее часть переходит в кратковременную память, где хранится до 48 час. Для перехода понятия в кратковременную память необходимо примерно 100 с. Около 1/3 этой информации со скоростью 0.05 бит/с переходит в долговременную память. Выдвинута гипотеза (см., например, [180]), что человеческая память вообще и в особенности способность к ассоциативному мышлению имеют *голографическую* природу.

Мышление не обязательно предусматривает решение чисто логических задач. Ю. И. Манин [134, с. 23] считает, что целостное восприятие образов, а также эмоции связаны, скорее всего, с нелинейными и недискретными процессами — возможно, волновой природы. Процесс решения сложной задачи имеет полициклический характер [242, с. 28–29]. В каждом цикле вводится новая сенсорная информация. Она сперва оценивается как образ правым полушарием, затем логически обрабатывается левым. После этого она опять переносится в правое, соотносится с чувственной реальностью, вновь переходит в левое и т. д. — пока задача не будет решена. Когда доминирует левое полушарие, человек осознает и вербализует полученный результат; когда доминирует правое, результат практически не выразим.

Таким образом, для достижения понимания необходимо неразрывное сочетание работы подсознательного, образного мышления и контролируемых сознанием логических методов. А. Пуанкаре писал [144, с. 179], что *догадка всегда предшествует доказательству*.

2.6.2. Интеллект

Под «интеллектом» акад. Н. Н. Моисеев подразумевал [151, с. 112] способность мышления предвидеть события (прежде всего результаты собственных действий), анализировать и оценивать свое состояние и окружающую обстановку и принимать решения, сообразуясь со своими представлениями об окружающем мире. Интеллект позволяет отличать плохое от хорошего; ставить и формулировать цели; устанавливать причинные связи между событиями с помощью той или иной логики, выводить следствия из некоторых исходных посылок; изобретать, совершать

открытия и т. д. Однако самое главное в интеллекте — это способность к отвлеченному мышлению (*абстрагированию*). Перечисленные способности закладываются и развиваются восптанием, обучением и всем жизненным опытом человека.

Элементы *формальной логики* будут обсуждаться в главе о научном инструментарии. Здесь мы приведем собранные из многих источников (в особенности отметим [65]) сведения и рекомендации относительно общих принципов человеческого логического мышления.

1. После построения математической модели процесса (устройства) обязательно исследуйте и оптимизируйте ее формальными (синтаксическими) методами. Все такие методы работают со структурными свойствами систем знаков, правилами их формирования и преобразования, отвлекаясь от интерпретации (истолкования). Однако, занимаясь лишь комбинацией знаков, слов или математических выражений, нельзя достичь творческого результата. Ответ о *значении* в значительной степени дается подсознанием.

2. Старайтесь преодолевать профессиональные стереотипы, мешающие восприятию нового. По акад. В. А. Фоку [190, с. 29], Максвелл не вполне понимал смысл теории Максвелла, Лоренц — преобразований Лоренца, де Бройль — что такое волны де Бройля. Г. Вейль объяснял Шредингеру, как решать уравнения Шредингера. Начальник кафедры истории партии ВКА им. Можайского В. И. Гема считал, что «Маркс не сразу стал марксистом». Характерно, что нобелевская премия М. Борну была присуждена за участие в разработке *нового способа мышления*, связанного с квантовой механикой.

3. Закон или принцип, сформулированный изобретателем, фокусируя его способности, в то же время ограничивает зону поиска. Предпринимайте попытки выйти за рамки данной системы, законов, науки. Невозможно то, что исключено в их рамках. А вне этих рамок? Получить действительно новое и красивое решение помогает творческий подход, выводящий за пределы стереотипов (простейший пример — задача на соединение тремя прямыми без отрыва карандаша четырех точек, размещенных в вершинах квадрата, с возвратом в исходную точку).

Расширяйте свой кругозор: идеи и сведения могут быть найдены в сферах, весьма далеких от предметной и даже от традиционных научных подходов к явлениям мира. Исследователь должен сравнивать новые идеи прежде всего не с опытом, а с другими идеями, и пытаться улучшить неудачные концепции, *не отбрасывая их*.

Привыкайте ставить себе и другим неожиданные вопросы. Разнообразьте постановку задачи. Каждая новая форма — новый ракурс ее рассмотрения, она вовлекает в поиски решения свежую информацию.

Учитесь видеть диссонансы. Сопоставление разных словесных формулировок найденного диссонанса позволяет выделить ядро задачи в зоне пересечения их. На начальных этапах целесообразна «нежесткая» постановка задачи: рано наложенные ограничения сужают спектр аналогий. Изменяйте ценностные критерии — это трансформирует логический анализ и позволяет построить иную цепь рассуждений. Периодически отстраняйтесь от задачи в пространстве и времени.

4. Хаос в проблемной области надо воспринимать как прямой призыв к структуризации знаний, поиску объединяющих принципов и построению теории. Пытайтесь строить теорию по неполным данным: любое ценное умозаключение формулируется по неполной информации. Ньютон проверил закон притяжения на примере Луны, а отнес ко всем телам. Кеплер обнаружил закономерность для Марса, а применил ко всем планетам. Упражняйтесь в рекомбинации имеющихся сведений.

Не критикуйте свою идею, когда она только что вылупилась; дайте ей окрепнуть и опериться.

5. Не страдайте, если не можете получить новые факты: для открытия иногда достаточно новыми глазами посмотреть на старые. Не гонитесь за умножением подтверждающих фактов: они укрепляют уверенность, но не доказывают. Напротив, один опровергающий факт может похоронить концепцию или теорию. Поэтому подобный факт надо тщательно и не один раз проверить.

Учитесь свободно комбинировать и систематизировать известные вам факты. Пробуйте разные принципы упорядочения, пытайтесь применить их к существенно неоднородным объектам. Как технологию упорядочения применяйте опыт Д. И. Менделеева, которому привычка раскладывать пасьянсы помогла в поиске схемы упорядочения элементов (не надо было перечерчивать каждый промежуточный вариант).

6. Всегда исходите из того, что *решение есть* — надо только найти его и сформулировать. Смотрите в задаче на не использованные пока данные — все должно идти в дело. Не спешите воспользоваться знакомым алгоритмом — ищите решение простое и неожиданное. Прикиньте для себя обратную задачу, возможные обобщения и следствия.

Наберитесь терпения, если продвигаетесь слишком медленно. Скалолазание и передвижение по горизонтальной плоскости несопоставимы по темпам — но ведь вы стремитесь к *вершине*! Отброшенные вариан-

ты, новые постановки, уточнение условий, осознанные новые ограничения, частные методы — это тоже результаты (кстати, не забывайте их фиксировать).

7. Не смущайтесь отрицательным отношением окружающих к избранной задаче: оно может явиться следствием опережения вами своего времени. Однако в таком случае удвойте бдительность, приготовьтесь к трудной защите и запаситесь максимумом аргументов в поддержку своих результатов.

2.6.3. Образное мышление

Талантливым людям присущи беглость и гибкость мысли, вариативность точек зрения, целостность восприятия. Многие из этих свойств хорошо соотносятся с правополушарным мышлением. Именно как продукты последнего появились планетарная модель атома, двухспиральная модель ДНК и др. По утверждению А. Н. Колмогорова [191, с. 122], геометрическая интуиция играет большую роль при исследовательской работе даже в самых отвлеченных разделах математики.

Образ имеет множество граней и аспектов; с ним может рождаться новое понятие, для которого слово не изобретено или не знакомо.

> «Знаки — необходимая поддержка для мысли. Для мысли, обращенной к обществу (стадия сообщения), и для мысли, находящейся в процессе подготовки к этому (стадия формулировки), наиболее обычной системой знаков является собственно речь; но внутренняя мысль, особенно когда это мысль творческая, охотно использует другие системы знаков, более гибкие и менее стандартизованные, которые оставляют больше свободы, подвижности творческой мысли» (из письма Ж. Адамару известного лингвиста Р. Якобсона [2]).

Слова, символы или чувственные образы могут придать форму смутным ощущениям, ассоциациям, предчувствиям. В конце концов, слово — это лишь этикетка, и неспроста существуют раскрывающие смысл слов толковые словари. Обычная речь и стандартная символика нужны для *фиксации* результата и передачи его научному сообществу. Лейбниц писал: «Следует заботиться о том, чтобы знаки были удобны для открытий. Это достигается в наибольшей мере тогда, когда знаки коротко выражают и как бы отображают глубочайшую природу вещи; при этом удивительным образом сокращается работа мышления»

[57, с. 193]. Преимущества алгебраических формул заключаются в том, что они интернациональны и понятны без перевода.

Ч. Пирс различал три вида знаков: иконические (похожие на объект); индексы (указатели); символы, опирающиеся на соглашения. Для рассуждения особенно полезны иконические знаки, главное достоинство которых — способность подсказать способ объединения элементов мысли. Чисто иконическими знаками являются геометрические фигуры. Геометрия придает мышлению определенность, конкретность, осязаемость и обеспечивает наибольшую продуктивность мышления при наименьших затратах.

В самых совершенных знаках смешаны все три аспекта. Примерами могут быть формулы органической химии, раскрывающие качественный и количественный состав вещества и строение его молекул; языки структурных схем алгоритмов, электрических схем, машиностроительных чертежей, схем объектного программирования. Попутно отметим, что для изготовления самых разнообразных схем идеально подходит система *Visio* (см. разд. 6.12.). На этапе творческого поиска можно использовать произвольные комбинации известных и собственных графических символов.

Коль скоро задача поставлена, т. е. известны исходные условия, цель и желаемые результаты, процесс решения может быть представлен как усмотрение перехода между двумя картинами — исходными условиями и желаемыми результатами. Операции конденсации, смещения и символической трансформации[8] позволяют организовать необходимые связи, выявить разного типа общность между ситуациями в зоне задачи.

Для мобилизации и тренировки правополушарного мышления можно рекомендовать:

- построение наглядных схем — структурных, блок-схем алгоритмов, функциональных, организационных и иных соотношений между понятиями (типа фреймов[9] — для первого знакомства см. [207]), диаграмм переходов между состояниями систем, сетевых графиков и диаграмм Ганта, лучевых диаграмм — см. разд. 7.7.5 и 7.7.8 — для сравнения нескольких объектов по комплексу показателей;

- моделирование (макеты, компьютерные игры, имитация);

[8]Эти операции определены в конце следующего подраздела.

[9]Во фреймах интересны взаимосвязи, интеграция фактографических и процедурных знаний, свойства по умолчанию, наследование свойств в иерархии.

- построение графиков результатов расчета, в частности трехмерных (современные математические пакеты такие возможности предоставляют);

- компьютерную анимацию анализируемых процессов, их имитационных моделей и спроектированных устройств (подобная анимация является единственным серьезным аргументом в пользу входящих в моду электронных учебников, полезна в процессе работы и может заметно оживить защиту диссертации).

Как утверждается в [63, с. 31], хороший эффект дает «дорисовка» образа, даваемого японскими поэтическими миниатюрами (хокку). Примеры таких миниатюр приводятся в разд. 5.3.

2.6.4. Подсознание

В научных трудах руководствуются прежде всего логическим мышлением. Но это не единственный и временами — не самый важный инструмент: важнейшую роль играет и *подсознание*. Следуя Н. Н. Моисееву, будем называть подсознанием составляющую информационной системы человека, которая не контролируется сознанием. С интересующей нас точки зрения основные свойства бессознательного суть множество протекающих в нем параллельных между собой и параллельных сознанию процессов, а также тесная связь их с эмоциями. Сила эмоции есть функция от потребности и от дефицита информации для ее удовлетворения. Акад. А. Б. Мигдал [144, с. 85] рекомендовал представить подсознание как собрание знакомых и полузнакомых людей, символизирующих различные понятия: «Нужно, чтобы они заинтересовались друг другом и начали общаться».

Бессознательные процессы не упорядочены во времени и не меняются сами по себе. При выключенной «логической машине» (это происходит во время сна) мысли превращаются в образы и обрабатываются как таковые, причем связи между образами получают эмоциональную стимуляцию и окраску. Результатом завершения такой обработки может стать полученный наутро ответ на долго мучивший «сновидца» вопрос. О значении сна в этом смысле писали Лукреций, А. С. Пушкин, Д. И. Менделеев, А. К. Глазунов, В. Инбер. Рамануджан любил говорить, что формулы ему внушает во сне богиня Намаккаль.

2.6.5. Интуиция и математическое открытие

Механизмы творческого мышления уже давно привлекают внимание представителей различных направлений психологии и логики. В поисках *новых идей* мы должны руководствоваться не только и даже не столько логикой, сколько интуицией. А интуиция предпочитает следовать по пути аналогий, перескакивая, с полным пренебрежением логикой, через препятствия, если эти пути заводят в тупик. Именно эти скачки и означают переход на новую ступень наших знаний. Но *неожиданные идеи, выдерживающие проверку, возникают только на основе профессионализма*. «Разрывая с помощью иррациональных скачков жесткий круг, в который нас заключает дедуктивное рассуждение, индукция, основанная на воображении и интуиции, позволяет осуществить великие завоевания мысли: она лежит в основе всех истинных достижений науки» (Луи де Бройль).

С. Р. Микулинский и М. Г. Ярошевский [157, с. 10] в период абсолютного торжества материализма в отечественной науке (1967 г.) отмечали, что «время игнорирования факторов, которые традиция соединила с терминами подсознательное, интуиция и т. п., прошло... Творчество в любых его проявлениях, в том числе и в форме научной деятельности, где, казалось бы, должны доминировать сугубо рациональные приемы получения и переработки информации, представляет сложный сплав осознанного и неосознанного, строгого расчета и интуитивных прозрений». В. И. Вернадский [46, с. 289] признавал идею В. Оствальда о существовании особых форм энергии в живом веществе и не считал правомерным априорно отвергать парапсихические и спиритические явления.

Характерными чертами научной интуиции являются [61, с. 28]:

- принципиальная невозможность получения искомого результата посредством чувственного познания или прямого логического вывода;
- внезапность и неожиданность полученного результата;
- неосознанность механизма творческого акта;
- необычайные легкость, простота и скорость прохождения пути от исходных данных к решению;
- безотчетная уверенность в истинности результата (который, конечно же, требует логической или экспериментальной проверки) и ярко выраженное чувство самоудовлетворения.

Дальнейшая логическая обработка найденного результата позволяет ввести его в обычные логические формы (индукция и дедукция, анализ и синтез, переход от конкретного к абстрактному и обратный).

Факты, по-видимому, «дозревают» в памяти, притираясь и укладываясь на свои места. Все данные, попавшие когда-либо в гигантский миксер нашей подсознательной памяти, постоянно сталкиваются друг с другом, причем родственные элементы могут объединяться, образуя полезные сочетания. Бессознательная способность комбинировать факты новыми способами есть *воображение*. Новообразованные группы идей в состоянии непроизвольно управлять целенаправленными действиями, даже не становясь осознаваемыми. Грезы прорываются в сознание в «сумеречных» состояниях — на грани сна и бодрствования. По В. Г. Немировскому [46, с. 345], «новый взгляд на человека совершенно однозначно совпадает с древней мистической традицией: при определенных обстоятельствах человек может функционировать как безграничное поле сознания. Это сознание преодолевает пределы человеческого тела, пространство, время, причинно-следственные связи».

Интуиция позволяет увидеть задачу в целом, преодолеть ограниченность известных подходов к решению и выйти за рамки привычных, одобряемых логикой и здравым смыслом представлений. Ее можно уподобить и *туннельному эффекту* — происходит проникновение сквозь барьер старых представлений. Акад. Л. Д. Фаддеев считает важнейшим различием между математикой и физикой разные формы интуиции. По его мнению, у физиков главную роль играет физический смысл, а у математиков — математическая элегантность и строгость. Он полагает, что физическую (и техническую! — *Ю. Р.*) интуицию надо расширять, включая в нее новые математические соображения.

Озарению обязательно предшествуют длительный и напряженный труд, инкубация и физический отдых, необходимый для свежести восприятия и выхода из накатанной колеи. Агни Йога учит, что «каждый труд имеет свою пралайю» (вынужденную паузу). Такие смены обязательны для восходящей спирали сознания — ср. [2, с. 141, 145]:

> «Эти внезапные вдохновения происходят лишь после нескольких дней сознательных усилий, которые казались абсолютно бесплодными, когда предполагаешь, что не сделано ничего хорошего, и когда кажется, что выбран совершенно ошибочный путь. Эти усилия, однако, не являются бесполезными, как это думают; они пустили в ход бессознательную машину, без них она не пришла бы в действие и ничего бы не произвела.

> ... Необходимость второго периода сознательной работы после озарения еще более понятна. Нужно использовать результаты этого озарения, вывести из них непосредственные следствия, привести в порядок, отредактировать доказательство. Но особенно необходимо их проверить... Правила вычислений строги и сложны, они требуют дисциплины, внимания и воли и, следовательно, сознания. В подсознании же царит, напротив, то, что я называю свободой, если можно назвать этим словом простое отсутствие дисциплины и беспорядок, рожденный случаем. Но только этот беспорядок рождает неожиданные комбинации».

Обязательными условиями вспышки интуиции являются:

- предшествующая, иногда весьма длительная и мучительная работа изобретателя;
- сохранение на достаточно высоком уровне интеллектуальной потребности в решении задачи;
- стрессовая ситуация (например, острейший дефицит времени).

Примером может служить опять же открытие Д. И. Менделеева. Таблица элементов была завершена (доведена до стадии отсылки в типографию наборного экземпляра) в течение одного дня [157, с. 47–48]. Благодаря цейтноту мысль ученого не застревала на второстепенных вопросах и проблемах, ответвляющихся от магистрального пути открытия (например — на мало изученных в ту пору семи элементах, которые не нашли своего места в таблице сразу).

Добавим к этому, что соискателю ученой степени гарантируется только дефицит времени.

К озарениям должна быть определенная психологическая предрасположенность — *одержимость наукой*. «Всякий крупный ученый должен быть до некоторой степени сумасшедшим», — говорил П. Л. Капица Резерфорду [96, с. 241]. Типичные для соискателя стрессовые условия порождают его зацикленность на проблеме: «все гении по нашему мнению суть циклотимики»[10]. По Ломброзо, лихорадочное состояние гениев

[10] П. И. Карпов, «Творчество душевнобольных». — М.–Л., 1926, с. 116. Эта книга упоминается в знаменитой сказке А. и Б. Стругацких для младших научных сотрудников «Понедельник начинается в субботу» и цитируется здесь по [191, с. 19].

во время творчества сходно с маниакальным возбуждением. А характерные признаки паранойи (эгоцентризм, последовательность и настойчивость в любых своих действиях, отсутствие угрызений совести, приверженность к одной идее) он считал типичными характеристиками «обычного» гения [168, с. 14].

Заслуживает внимания художественное описание акта озарения:

> «Художник, по-видимому, структура типа вулкан, где-то внизу и в глуши себя клокочут силы необоримые и ищут выхода вверх. Но канал, выводящий наружу и являющий себя в виде кратера или хотя бы фумаролы, мученически непробиваем... Хочется взять стальной дрын и проткнуть. Но проткнуть можно только изнутри, вот в чем беда. И, значит, только собственным мощно-энергетическим потоком. Нужно нарастить такое, когда все, кроме этой жаждущей прорыва магмы внутри, уже не имеет значения, звуки обыденного мира глохнут вокруг и лица кругом сливаются в пятна, время в тебе сгущается, будто мед, и свертывается до сингулярности, а пространство закручивается вокруг как кокон, в котором свободно и неотрывно только кваркам души.
>
> Тогда — в какой-то единственный миг — происходит прорыв. Мысль вдруг блестяща и выпукла, слова хлынут как лава, чувства организованно и бесстрашно подчинены тебе, ассоциации, их неисчислимая бесконечность, все время требующая динамического выбора, отбора и полного перебора, больше уже не страшит, а — наоборот — вдруг делает тебя как-то трубно вольным, словно венценосного журавля. Видимо, для художника тут-то и наступает миг минимума энтропии, и миг этот — собственно творческий процесс. И коли состояние это достигнуто и возникло, можно уже не бояться внешних помех; все внешнее идет уже как шумы в теории информации, их легко и без особого напряжения души отсекаешь, отодвигаешь на потом, запоминаешь периферийным каким-то сознанием, чтобы после, когда вернешься из глубинного своего и главного мига, разобраться. Это состояние, как я понимаю, и есть счастье» [84].

В литературе по психологии научного творчества [2, 220] перечисляются прославленные носители «озаренного разума»: Пуанкаре, Гаусс, Гельмгольц, Ланжевен, Оствальд, Моцарт — и приводятся описания конкретных озарений: периодическая система элементов (Д. И. Менделеев),

фагоцитоз (И. И. Мечников), инсулин (Ф. Бантинг), синдром стресса (Г. Селье).

Представления о вдохновении, озарении, «ага»-переживании, интуитивном видении, инсайте входят в состав различных схем динамики творческого акта. Его фазами обычно считают подготовку, созревание, озарение и проверку. Спусковым механизмом интуиции часто является решение дополнительной задачи, способной навести на искомый результат благодаря случайно возникшей ассоциации.

Ясно, что простая ссылка на бессознательное как источник постижения недостаточна. К сожалению, экспериментальное исследование интуиции невозможно, поскольку открытия не возникают в искусственных (контролируемых) условиях. С другой стороны, думание вслух, результаты обработки которого закладываются в программы экспертных систем, не раскрывает процессуальную сторону мышления эксперта. Ведь последний думает об объектах предметной области, а не о том, *как он думает*. Поскольку субъект не может осознать явления своего собственного внутреннего мира иначе, как посредством слова, невербализуемость и нерасчлененность интуиции породили впечатление ее непостижимости [157, с. 139].

Выдвинут ряд интересных гипотез относительно факторов, под действием которых преодолеваются шаблонные способы решения интеллектуальных задач, возникают догадки, происходит переход от смутно предвосхищаемого замысла к его реализации в продукте творчества. Все большее число авторов склоняется к тому, что в основе интуиции лежит *предметная логика*, реализующая категориальный строй данной области науки, — следовательно, здесь работает скорее надсознание, чем подсознание.

1. Многие авторы сводят интуицию к рождению аналогии из цепи ассоциаций. Когда мера общности между чем-то и чем-то превосходит некий порог, человек ощущает изменение своего эмоционального состояния и воспринимает это изменение как предчувствие решения — намек. *Смещение* провоцирует подозрение о чем-то важном в связи с восприятием ранее малозначительной детали. При *символической трансформации* объектом внимания выступает сама деталь, намекающая на всё событие. Обе эти операции активизируют память, порождая новые ассоциации как в подсознательной ее зоне (смещение), так и в зоне управляемого доступа (символическая трансформация). Они определяют, что будет поступать в память и обрабатываться там путем *конденсации* — операции преобразования материала.

Установление множества разнообразных общностей и вплетение их в сеть ассоциаций подготавливает *заключение по аналогии*, когда выделенное частное сходство позволяет прогнозировать сходство в других свойствах. При этом осуществляется скачок от достоверного знания в область, где о существовании выделенного свойства нет необходимых сведений. Аналогии могут порождаться структурной схожестью, функциональным подобием и сходством отношений. В последнем случае информация дается об отношениях между двумя предметами или двумя классами однородных предметов. Имеем отношения aR_1b, cR_2d. Здесь аналогии проводятся не между a и c, b и d, но между R_1 и R_2. Примером может служить аналогия между атомом и солнечной системой в физике.

Аналогии являются одной из основ научного творчества. С. Банах писал: «Математик — это тот, кто умеет находить аналогии между утверждениями. Лучший математик устанавливает аналогии доказательств, более сильный математик замечает аналогии теорий. Но можно представить себе такого, кто видит аналогию между аналогиями».

Г. Харди отмечал, что Рамануджан приходил к своим феноменальным результатам при помощи странной смеси интуитивных догадок, индуктивных соображений и логических рассуждений. Математический гений противоположного склада Дж. фон Нейман начинал свою работу, к какой бы области она ни относилась, с составления перечня аксиом. Наглядные представления о предмете заменялись при этом схематическим описанием наиболее существенных его свойств, и только эти свойства использовались в последующих рассуждениях и доказательствах [74, с. 11]. Он искренне восхищался математиками и физиками, способными интуитивно постигать новые истины и иррационально угадывать доказательства или формулировки новых теорем.

2. К описанному процессу близок подход, опирающийся на работы школы нобелевского лауреата И. И. Пригожина по стохастической динамике. Принцип минимума диссипации энергии не только отбирает из тех движений, которые допускаются законами физики, «наиболее экономные», но и содействует процессу возникновения структур, способных концентрировать окружающую материальную субстанцию, понижая тем самым локальную энтропию. В пространстве состояний стохастической среды возникают области, отвечающие локальным минимумам характеризующего рост энтропии функционала. Эти области возможных состояний оказываются «областями притяжения», в которых складываются условия для возникновения локальных структур, чья ква-

зиустойчивость определяется их способностью использовать энергию и вещество из окружающего пространства ([150, с. 49], см. также раздел о тренировке интуиции).

3. «Кибернетический» подход полагает, что в мозгу создается информационная динамическая модель, начинающая самостоятельную жизнь и автономно устанавливающая новые связи и отношения между элементами проблемной ситуации; после решения задачи результаты как бы выдаются поставившему ее человеку.

4. Школа гештальтпсихологии считает, что творческое (продуктивное) решение проблемы достигается путем внезапной реконструкции *предметного* познавательного поля — перехода от одного структурного целого (гештальта) к другому. Для гештальтизма основное — не знак, а значение, преобразование которого происходит по некоторым универсальным законам построения «хорошего» гештальта [157, с. 111].

5. Проводятся аналогии с эвристическим программированием. Эвристическими считаются методы решения особо сложных задач, для которых нельзя точно очертить границы применимости и оценить возможные ошибки. Эвристики обычно используются для сокращения перебора вариантов решения и основаны на актуализации и организации знаний и операций, которые могут помочь решению задачи. Роль эвристических элементов особенно велика на начальных этапах становления научной теории.

Этот раздел мы завершим еще одной цитатой из Агни Йоги — без комментариев: «*Само слово "вдохновение" уже указывает на нечто внешнее и ведущее*».

2.6.6. Эстетика как критерий истины

Весьма популярна обывательская точка зрения, что наука подменяет мир качества и чувственного восприятия миром количества: «Красоту цветения наука превращает в ботанику, великолепие закатов — в метеорологию» (И. Пригожин). Сами ученые на этот счет придерживаются другого мнения — и с полным основанием.

Проблема близости научного и художественного творчества занимала и продолжает занимать многих ученых и мыслителей из мира искусства. Под изяществом и красотой в науке понимаются остроумие аргументации, установление неожиданных связей, богатство и значительность заключений при минимальном числе допущений. Красота теории часто является признаком ее правильности и глубины. Об этом писали,

например, А. Эйнштейн, Ф. Жолио-Кюри, Р. Оппенгеймер, А. Д. Александров, Я. И. Френкель, Л. Д. Фаддеев. Многочисленные примеры из биологии (см. «Лезвие бритвы» И. А. Ефремова) и техники свидетельствуют, что *как прекрасное интуитивно оценивается высшая целесообразность*. Гармонию системы создает внутренняя согласованность ее частей и их взаимодействия.

Основоположник греческой математики Фалес Милетский предпринял первую попытку пересмотреть логическую структуру всех известных геометрических фактов. Анализ содержания приписываемых Фалесу теорем показал, что все эти предложения тесно связаны с симметрией [264, с. 16–17]. Еще Гераклит соотносил понятие гармонии с совпадением, согласием, единством противоположных сторон (прямая аналогия с лезвием бритвы!). Для античных произведений периода высшего расцвета («век Перикла») концепция органической связи симметрии, гармонии, эквивалентности, равноправия с одной стороны и сохранения, уравновешенности, устойчивости, справедливости — с другой была одной из наиболее характерных и универсальных (см., например, высказывание Аристотеля [137, с. 101]).

Птолемей трактовал гармонию как деятельное начало, благодаря которому система приобретает соразмерность и упорядоченность. При возведении зданий с античных времен широко использовалось «золотое сечение» (термин введен Леонардо да Винчи), согласно которому целое должно относиться к большей части, как большая к меньшей:

$$\frac{1}{x} = \frac{x}{1-x},$$

откуда следует

$$x = \frac{-1+\sqrt{1+4}}{2} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} \approx 0.618.$$

В. И. Петрик (см. «СПб. Ведомости», 23.05.2003) многократно обнаруживал «золотое» соотношение при обмере скрипок работы великих мастеров.

Созерцать красоту и гармонию Вселенной, хоть в какой-то степени их постигая, — одна из основных человеческих способностей, доставляющая ему наивысшее удовлетворение. Эстетика науки, как и эстетика в целом, является воплощением *бесконечного*. Созерцание чего-то бесконечно более великого, нежели наша собственная персона, заставляет все наши повседневные заботы как бы уменьшаться в размерах. Существует некий душевный мир и спокойствие, достичь которого можно лишь через

соприкосновение с возвышенным. «Нас никогда не перестанут радовать пропорции Парфенона, гармоничность и единство с природой церкви Покрова на Нерли» (А. Б. Мигдал, [144, с. 107]). И. Кеплер, Г. Галилей, Н. Коперник, И. Ньютон в открытых ими физических законах видели адекватное выражение гармонических явлений самой природы. А. Эйнштейн верил в высшую гармонию существования мира и всю жизнь искал пути к этой гармонии. Именно эстетическое чувство играет решающую роль в отборе конкурирующих гипотез.

Для Рамануджана, который «считал каждое натуральное число своим личным другом», внутренняя красота формулы имела бесконечную ценность. Его формулы можно рассматривать, как прекрасные картины [57, с. 394–396]. К примеру, соотношение

$$1+\frac{1}{1\cdot 3}+\frac{1}{1\cdot 3\cdot 5}+\frac{1}{1\cdot 3\cdot 5\cdot 7}+\frac{1}{1\cdot 3\cdot 5\cdot 7\cdot 9}+\ldots+ \\ +\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{2}{1+\cfrac{3}{1+\cfrac{4}{1+\ldots}}}}}=\sqrt{\frac{\pi e}{2}}$$

неожиданно связывает бесконечный ряд и бесконечную цепную дробь. Удивительно, что ни ряд, ни цепная дробь не выражаются через известные постоянные π и e, а их сумма непостижимым образом оказывается равной $\sqrt{\pi e/2}$. Кстати, отметим, что результаты Рамануджана все чаще используются в самых передовых областях теоретической физики. Красивейшими формулами теоретической физики А. Б. Мигдал [144, с. 101] считает формулу теории тяготения Эйнштейна, связывающую радиус кривизны пространства с плотностью материи, и уравнения Максвелла, в которых в компактной форме содержится информация обо всех электрических и магнитных явлениях.

Ассоциации с искусством способствуют повышению творческого тонуса, формированию вкуса к эстетизму решения, появлению чувства гармонии. Вольтер «любил всех девятерых муз: надо искать счастья у возможно большего числа дам». М. Клайн полагал: «Если бы Платон писал Библию, он, несомненно, начал бы ее такими словами: "Вначале Бог создал математику, а затем небо и землю согласно законам математики"» — [137, с. 23]. Поэтому Э. Шредингер при выводе своего знаме-

нитого уравнения в значительной мере руководствовался эстетическими соображениями [251, с. 56].

Г. Вейль полагал, что в природе существует внутренне присущая ей скрытая гармония, отражающаяся в наших умах в виде простых математических законов: «Выразительность и форма имеют для меня, быть может, большее значение, чем само знание. В своей работе я всегда пытался объединить истину с прекрасным, и когда мне приходилось выбирать одно из двух, я всегда выбирал прекрасное» [84]. Другой крупнейший математик XX века А. Пуанкаре писал:

> «В общем случае среди бессознательных идей привилегированными, т. е. способными стать сознательными, являются те, которые наиболее глубоко воздействуют на наши чувства.
>
> Может вызвать удивление обращение к чувствам, когда речь идет о математических доказательствах, которые, казалось бы, связаны только с умом. Но это означало бы, что мы забываем о чувстве математической красоты, чувстве гармонии чисел и форм, геометрической выразительности. Это настоящее эстетическое чувство, знакомое всем настоящим математикам...
>
> Но каковы математические характеристики, которым мы приписываем свойства красоты и изящества и которые способны возбудить в нас своего рода эстетическое чувство? Это те, элементы которых гармонически расположены таким образом, что ум без усилия может их охватывать целиком, угадывая детали. Эта гармония служит одновременно удовлетворением наших эстетических чувств и помощью для ума, она его поддерживает и ею он руководствуется. Эта гармония дает нам возможность предчувствовать математический закон... Таким образом, полезные комбинации — это в точности наиболее красивые» [2, с. 141].

Красота решения выражается [251, с. 57]:

- в чувстве целостности концепции и ее объективной значимости;
- в симметрии формул, схем и соотношения мыслей, их ритмичности, динамичности изложения.

Идею симметрии подсказывает сама природа. Снежинки, кристаллы, листья, ветки, плоды, насекомые, рыбы, птицы, человеческое тело — все построено по законам симметрии, вернее — разных симметрий; именно

они заставляют нас восхищаться красотой живой и неживой природы. При этом речь может идти не только о симметрии материальных объектов, но и о *симметрии систем понятий и теорий*, отображающих структуру реального мира. В истории о первом проявлении гениальности юного К. Гаусса (суммирование чисел от 1 до 100) он для мгновенного получения ответа использовал именно симметрию. М. Фарадей был убежден в своеобразной взаимности явлений; поэтому ему пришло в голову обратить открытие Эрстеда о влиянии тока на магнитную стрелку, вызвав перемещением магнита электрический ток [190, с. 78]. Д. И. Менделеев обнаружил удивительную симметрию химических свойств, но подлинную красоту таблица Менделеева обрела после создания квантовой механики, когда полностью раскрылась природа этой симметрии [144, с. 112]. Известно, что Пьер Кюри сопоставлял пьезоэлектрические и магнитные явления, рассчитывая именно на обнаружение симметрии.

Об универсальности симметрии хорошо сказано в предисловии к книге Г. Вейля «Симметрия»: «Симметрия устанавливает забавное и удивительное родство между предметами, явлениями и теориями, внешне никак не связанными: земным магнетизмом, женской вуалью, поляризованным светом, естественным отбором, теорией групп, инвариантами и преобразованиями, рабочими привычками пчел в улье, строением пространства, рисунками ваз, квантовой физикой, скарабеями, лепестками цветов, интерференционной картиной рентгеновских лучей, делением клеток морских ежей, равновесными конфигурациями кристаллов, романскими соборами, снежинками, музыкой, теорией относительности» [260]. Даже такие вопросы, как возможность существования антимиров и поиски новых частиц, связаны с симметрией [144, с. 108]. Принципы симметрии лежат в основе самых сложных, самых современных физических теорий, более того — в основе законов природы. Главное направление современной физики — поиски симметрии и единства законов природы.

Нобелевский лауреат Э. Вигнер считал, что если законы природы управляют явлениями, то принципы симметрии управляют законами природы. Таким образом, они являются *законами физических законов*. Не случайно так возросла роль описывающей виды симметрии теории групп в исследовании фундаментальных проблем микромира. Связь между законами сохранения и симметриями физических законов, по словам Р. Фейнмана, до сих пор поражает физиков глубиной и красотой [260, с. 289]. Отметим, что заключительный раздел цитируемой монографии [260] А. В. Шубникова и В. А. Копцика посвящен симметрии и диссимметрии в искусстве: стихосложении, музыке, изобразительном искусстве.

В частности, применительно к музыке рассматривается не только звучание, но и *графическое представление* ее (ноты).

2.6.7. Математика и музыка

Обсуждение связей между этими отраслями человеческой культуры мы начнем с цитаты из великого ученого и философа В. И. Вернадского [45, с. 200–202]:

> «Столь общее и древнее стремление научного миросозерцания выразить все в числах, искание кругом простых числовых отношений проникло в науку из самого древнего искусства — из музыки; исходя из нее, числовые искания проникли путем религиозного вдохновения в самые древние научные системы... Первые следы влияния нашей музыкальной гармонии мы видим уже в некоторых гимнах Ригведы, в которых числовые соотношения мирового устройства находятся в известной аналогии с музыкой, с песнью... Через Пифагора и пифагорейцев концепции музыки проникли в науку и надолго охватили ее. С тех пор искание гармонии (в широком смысле), искание числовых соотношений является основным элементом научной работы... В концепциях ученых нашего века число и числовое соотношение играют такую же мистическую роль, какую они играли в древних общинах, связанных религиозным культом, в созерцании служителей храмов, откуда они проникли и охватили научное мировоззрение. Здесь еще видны и живы ясные следы древней связи науки с религией.
>
> ... Тогда считали, что путем самоуглубления, погружения в тайники души можно слышать гармонию небесных светил, небесных сфер, всего окружающего. Известно, как глубоко такое искание и убеждение охватывало душу Кеплера, когда оно привело его к открытию его вечных законов. В глубоких и широких религиозных построениях Отцов Церкви и ученых теологов Средних веков та же идея получила другое выражение: все существующие и гармонически расположенные светила поют славу Творцу, и тоны этой этой мировой гармонии, неслышные нам, слышны Ему наверху, а нам выражаются в закономерности и правильности окружающего нас мира».

Роль гармонии в природе, математике и технике естественно приводит к *музыкальным* аналогиям [132]: «Далеки истоки музыки.

Она рождается из меры, коренится в великом едином... Музыка, обретшая законченность, — искусство, проистекающее из уравновешенности. Уравновешенность проистекает из справедливости, справедливость — из знания дао... Сила, слабость, ум, глупость, благородство и подлость — все обретает осязаемые формы в музыке, так что спрятать их невозможно». Кеплер писал о «музыке сфер». Лейбниц говорил, что музыка — радость души, которая вычисляет, сама того не зная [118]. По поводу правил квантования Бора Эйнштейн сказал: «Это высшая музыкальность в области теоретической мысли» [144, с. 162].

Естественно, что очень многие специалисты в точных науках отнюдь не являлись дилетантами и в музыке. Д. К. Чернов был не только выдающимся металлургом, но и искусным скрипичным мастером. Ему удавалось доводить обычные скрипки до такого совершенства, что позднее эксперты не всегда отличали их от экземпляров, созданных Страдивари [247, с. 9]. Поль Дирак, Вернер Гейзенберг, Макс Планк, Пауль Эренфест — пианисты, игра которых могла доставить истинное наслаждение. Мастерски играл на скрипке А. Эйнштейн. Яков Ильич Френкель в гостях у американского профессора Эриксона играл «Легенду» Венявского, «Дьявольские трели» Тартини и «Цыганские напевы» Сарасате [99, с. 14] — репертуар концертирующего виртуоза.

Систематические занятия музыкой (хотя бы в режиме слушания) гармонизируют личность во всех ее аспектах и, несомненно, способствуют успешной научной работе. Автор научной книги или диссертации сможет гораздо лучше выстроить свое произведение, проникшись статьей БСЭ о фуге (т. 45):

> «Фуга — форма полифонического музыкального произведения, основанная на имитационном проведении одной, реже двух и более тем во всех голосах по определенному тонально-гармоническому плану...
>
> Основной (первой) частью фуги является экспозиция. В экспозиции первый вступающий голос проводит тему в главной тональности, второй — в доминантовой (ответ), третий — снова в главной и т. д. — по числу голосов, чередуя тему и ответ... Мелодия, сопровождающая второе и последующие проведения темы в виде контрапункта, называется противосложением.
>
> После первой экспозиции следует вторая (контрэкспозиция), где голоса вступают в иной последовательности, или непосредственно разработочная часть, а затем обычно реприза.

> В разработочной части тема проводится в разных тональностях (кроме главной); в репризе же — по преимуществу в главной. Эпизоды, связывающие проведение тем, называются интермедиями ...
>
> В фуге обычно раскрывается один художественный образ. Он находит концентрированное выражение прежде всего в теме, представляющей собой выразительную, запоминающуюся краткую мелодию. В процессе развития фуги первоначальный ее художественный образ обогащается новыми оттенками, хотя лишь в редких случаях это приводит к коренному переосмыслению. На протяжении фуги тема может быть изложена в обращении, увеличении, уменьшении и (реже) в ракоходном (от конца к началу) движении».

Эту статью вполне можно рассматривать как суфийскую инструкцию автору диссертации.

Описание исполнения фуги и ее эмоционального воздействия в книге Г. Гессе «Игра в бисер» принадлежит к лучшим страницам мировой литературы. Строение фуги можно *видеть* (!!) на одноименной картине М. К. Чюрлениса.

Разумеется, «вместить сие может не всякий, но кому дано». «Хорошая музыка — "дар божественных звучаний" — строится с четкой выдержанностью формы. В фугах Баха, как в алгоритме, как в формуле, заключена строжайшая последовательность. В этой строгости — существенный источник их впечатляющей силы. Так и в строгой последовательности математических построений есть своя внутренняя музыка, своя красота — жар холодных формул. Но как понимание структуры музыки требует музыкальной культуры, так и переживание красоты математики требует культуры математической» (акад. А. Д. Александров, [137, с. 146]).

В заключение этого раздела мы сошлемся на отмеченную И. И. Пригожиным [181] тенденцию современной науки «мыслить вещи как процессы», что по существу означает «мыслить музыкально».

2.6.8. Эстетика программирования и оформления работы

Красивые решения возможны и ценятся не только собственно в математике, но и в реализации математических методов и в оформлении публикаций.

> «Программирование обладает богатой, глубокой и своеобразной эстетикой, которая является основой внутреннего отношения программиста к своей профессии и служит источником интеллектуальной силы, ярких переживаний и глубокого удовлетворения. В своей творческой природе программирование идет намного дальше большинства других профессий, приближаясь к математике и писательскому делу...
>
> Очень важным эстетическим принципом программирования является его высочайшая требовательность к законченности продукта. Эта стопроцентность программирования — источник его трудности и в то же время величайшей удовлетворенности сделанной работой. В минуты, когда снабженная новой программой машина ведет себя разумно, программист видит материальное воплощение своих интеллектуальных усилий, становящихся отныне общим достоянием. Это торжество интеллекта — самая сильная и специфическая сторона программирования»
>
> (А. П. Ершов. О человеческом и эстетическом факторах в программировании. — «Кибернетика», 1972, № 5).

Лучшие умы человечества со вдохновением и энтузиазмом восприняли рождение электронной вычислительной техники. Первым физиком, который использовал мощные ЭВМ для своей повседневной работы, был Энрико Ферми. Он пропагандировал использование этих машин самими физиками — без математиков — и сам был великолепным программистом [176, с. 20].

Классик программирования проф. Д. Е. Кнут (кстати, он был с А. П. Ершовым в дружеских отношениях) в своей речи при вручении ему диплома почетного доктора Санкт-Петербургского университета (см. «Программирование», 1994, № 6, с. 90–91) говорил:

> «Я сильно взволнован тем, что нахожусь в том месте, где Л. Эйлер создал большинство своих трудов, проведя коренную перестройку математики в XVIII веке. Эйлер приехал сюда двадцатилетним в 1727 г., когда по улицам еще рыскали волки.
>
> Математика — наука примеров, и Эйлер открыл сотни наиболее значительных примеров, которые нам известны... Эйлер также коренным образом изменил математические обозначения. Он побудил печатников Санкт-Петербурга выпускать книги, отвечающие новым, более высоким типографским стандартам.

> ... Моя собственная деятельность в значительной степени посвящена созданию компьютерных примеров, которые столь же прекрасны, как произведения искусства. Любая программа может быть вдвойне восхитительна — функционально и эстетически. Любой программист может получить двойное удовлетворение — от решения важной задачи и от ее решения элегантным способом».

Продолжая дело Эйлера, Д. Кнут сделал и третий шаг в «эстетике математики» — он создал непревзойденную систему набора математических рукописей TEX (см. главу 6), с помощью которой недавно переиздана знаменитая серия его книг «Искусство программирования». Название системы происходит от древнегреческого слова «тэхне» — искусство в широком смысле слова (включая умение).

Кстати, об открытых Эйлером примерах: потрясает эстетическое чувство компактное равенство, объединяющее пять важнейших математических констант:

$$e^{i\pi} + 1 = 0.$$

В удивительном тождестве Эйлера некоторые его современники [75, с. 164] усматривали *мистический союз*, где арифметика была представлена нулем и единицей, алгебра — символом i, геометрия — π, а математический анализ — замечательным пределом e. Этот шедевр по краткости, глубине и выразительности нельзя не сопоставить с обсуждаемыми ниже японскими трехстишиями. Акад. Л. Д. Фаддеев демонстрировал его в телеинтервью по поводу своего 75-летия.

2.6.9. Тренировка интуиции

Болезнь многих современных специалистов — неумение творчески решать задачи и отсутствие инициативы. Одна из ее причин — состояние средней и высшей школы, где основное внимание уделяется насыщению студентов специальными знаниями и технике воплощения замысла, но не развитию потенциала мышления. Понизилась эмоциональность преподавания. Не уделяется внимание восприятию красоты и гармонии мира природы и техносферы. Теоретические курсы математизированы бездумно, растет объем сведений частного и справочного характера в ущерб концептуальным. Отметим, что фантастический прогресс запоминающих устройств (например, flash-памяти) по существу обесценил подобное «образование». Свойства интеллекта, измеряемые

IQ, недостаточны для творческой продуктивности: надо учиться и учить *нестандартно мыслить*.

Как правило, неудачи с усвоением курса математики вызваны не дефицитом математических способностей, а отсутствием прочного знания фундаментальных понятий, ленью ума и попытками свести познание к запоминанию без понимания. *Основа мышления — управляемое ассоциирование*. Тот, кто не организует свою память посредством некоторого каркаса из базовых понятий и делает ставку только на зубрежку, отключает разум от процесса познания. Речь идет как о неумении, так и о нежелании учиться.

В норме взаимодействие полушарий мозга носит циклический характер. Кооперация их усилий и совместная работа в экстремальных условиях приводит к возникновению *инсайтных* форм мышления. Общий тренинг по системе дзен-буддизма повышает вероятность стрессового инсайта и готовность человека к мгновенным действиям в опасной ситуации. Специальная тренировка характерного для правополушарной обработки целостного восприятия происходит в процессе профессиональной деятельности (постепенно формируются чувства целостности, гармонии, порядка, сбалансированности). Хороший пример — авиаконструктор А. Н. Туполев, который, взглянув на модель самолета, мог сказать «не взлетит» или «вот здесь сломается». Так же целостно воспринимают пациентов опытные врачи, стиль работы которых — «лечить не болезнь, но больного».

Предвосхищение, прогноз — ключевые моменты интуиции. Удовольствие, доставляемое музыкой, связано со способностью человека к предвкушению продолжения. Слушание музыки тренирует механизм предсказания. Мелодии и ритмы (разумеется, не столь агрессивные, как нынешние) оказывают глубинное положительное влияние не только на психику, но и на физиологию. Поэтому создаются (и продаются) специально подобранные музыкальные программы для активации творческой деятельности. Эмоциональная подвижность очень облегчает образование ассоциаций. *Логику* интуиции следует искать не в наборе универсальных технических приемов, но в логике самого предмета.

Современное представление о творческом процессе широко использует понятия рождающейся новой науки — *синергетики*, существенно пересекающейся с «теорией катастроф». Синергетика включает в себя три основных компоненты: нелинейность, открытость системы и самоорганизацию. По ее представлениям, развитие происходит через неустой-

чивость, бифуркации (ветвление в критических точках), случайность. Переходные процессы в нелинейных системах имеют свои *аттракторы*: притягивающие их множества «естественных» для системы состояний. Простейшие аттракторы — точки или линии на фазовой плоскости. Области влияния тех или иных аттракторов разделяются *сепаратрисами*.

Случайность вблизи точки бифуркации порождает переломный момент и «революционный» выбор пути развития. Случайности второго рода «выжигают» все лишнее на микроуровне, обеспечивая эволюционное продвижение к аттрактору [54]. С этих позиций случайность надлежит рассматривать как творческое, конструктивное начало. Она строит мир, ибо выводит систему на ее аттрактор — внутреннюю тенденцию ее организации. Как писал поэт с гениальной интуицией А. Блок,

«Сотри случайные черты,
И ты увидишь: мир прекрасен».

Подстегивать волевым усилием творческий процесс бессмысленно. Ученые, деятельность которых являет собой образец вдохновенного труда, единодушно говорят о невозможности преднамеренно вызывать «счастливые мысли». *Искусство управления любым процессом, в том числе творческим, заключается не в насилии над ним, а в быстром и экономном выходе на нужный аттрактор («попадании в резонанс»)*. Доминантный очаг возбуждения в мозгу может быть представлен как воронка, в которую вскоре устремится поток информации, — т. е. как система, подстерегающая подсказку. Воронку расширяют понимание важности поставленной задачи или возникшая эмоция. С точки зрения синергетики состояние вдохновения означает попадание в поле одного из креативных аттракторов. Будущее состояние системы как бы притягивает настоящее.

Тренировка переноса внимания с одной части задачи на другую при изменении ракурса ее рассмотрения будет способствовать становлению механизмов операции смещения. Периферическое восприятие, перенос внимания на частности и побочные продукты позволяют найти новый угол зрения на проблему, новые ассоциации.

Первейшее условие для высекания вспышек интуиции — максимальное расширение поля поиска, переоценка ценностей, уравнивание главного и неглавного перед лицом смутной и неделимой творческой цели. «Нужно носить в себе хаос, чтобы быть в состоянии родить танцующую звезду» (Ф. Ницше, [54]).

Предупреждение. Приведенные в этой главе сведения о природе и возможностях интуиции указывают лишь на редко упоминаемые

и трудно управляемые средства повышения творческой продуктивности ученого. Однако на «щучье веленье» и автоматически прыгающие в рот галушки рассчитывать не приходится: *озарение надо заработать*. «На случай при великих открытиях наталкиваются лишь те, кто его заслуживает» (Лагранж, [137, с. 66]). Такую же позицию занимает акад. А. Б. Мигдал [144, с. 21]: «Неожиданные идеи, выживающие после проверки, рождаются только на основе профессионализма... В науке, как и в цирке, сложные вещи удаются лишь на самом высоком профессиональном уровне».

2.7. Этика ученого

2.7.1. Общие соображения

Этот раздел приходится начать с актуальных как никогда горьких размышлений нобелевского лауреата Макса Борна [28, с. 140]:

> «Настоящая болезнь... состоит в разрушении этических принципов, которые создавались веками и позволяли сохранять достойный образ жизни даже во времена жесточайших войн и повсеместных опустошений... В состоянии мира основу жизни общества составлял упорный труд. Человек был горд своим умением работать и плодами своей работы. Квалификация и изобретательность в применении знаний ценились очень высоко. Сегодня от этого мало что осталось. Применение машин и автоматики принижает значение личного вклада человека в выполняемую работу и уничтожает чувство собственного достоинства. Теперь целью работы и вознаграждением являются деньги...
>
> В войне идеальный солдат отличался силой, храбростью, великодушием к побежденным и состраданием к беззащитным людям. От всего этого ничего не осталось. Новейшее оружие массового уничтожения не оставляет места для каких-то этических ограничений, низводит солдата до положения убийцы-технолога.
>
> Сегодня нам угрожают не холера и не бацилла, а традиционно циничный образ мышления политиканов, равнодушие масс и потеря чувства ответственности физиками и другими учеными».

Корни переживаемой ныне Россией исторической драмы — в том, что «к концу 1970-х гг. КПСС утратила ум, а затем потеряла честь и совесть» [8, с. 289]. И дело здесь вовсе не в кризисе коммунистической идеи. Продолжим вышеприведенную цитату из Ж. И. Алферова: «Не претендуя на сравнение, напомню, что такие замечательные физики, как Жолио-Кюри и Ланжевен во Франции, Джон Бернал в Великобритании, писатель Теодор Драйзер в США, в кризисные моменты истории стали членами компартий своих стран».

Повышенный удельный вес творчества в научно-исследовательском труде создает своеобразные отношения между людьми и порождает особо деликатные нравственные коллизии, для регуляции которых к общезначимой морали необходимы добавки в виде норм профессиональной научной этики [235, с. 12]. Мы ограничимся проблемами нравственности в точных и технических науках.

Нормы научной этики неофициальны, но существуют и действуют. Это прежде всего проекции на научную работу общечеловеческих моральных норм (не укради, не лги, не прелюбодействуй, не сотвори себе кумира, не убий) — см., например, [209]. Однако удобнее группировать их иначе: субъект — объект, два ученых, ученый и общество.

2.7.2. Ученый и объект познания

Целью научной работы является получение объективной истины. Любое научное утверждение, положение, открытие и т. п. должно быть доказано (обосновано, выведено) средствами и способами, взятыми *из самой науки*. Актуальность этого тезиса возрастает в условиях дифференциации наук, когда результаты из других областей знания приходится принимать на веру. Романтика и поэзия науки заключаются не в разрушении старого, а в переплетении и проникновении друг в друга новых и прежних идей.

В своей нобелевской речи Альбер Камю сказал, что искусство шагает по узкой тропинке между двух бездн: с одной стороны — пустота, с другой — тенденциозность. В *науке* такие бездны — верхоглядство и догматизм. Занятия математикой вырабатывают особую строгость мышления, которая становится второй натурой ученого. У исследователя не должно быть намерений и целей (ни личных, ни групповых), противоречащих задаче поиска истины. По мнению А. Б. Мигдала [144, с. 70], «не бывает добросовестности первого или второго сорта. Добросовестность одна — безупречная (как свежесть осет-

рины в "Мастере и Маргарите" М. А. Булгакова)». Печальные примеры из истории науки (Т. Д. Лысенко и др.), а также трагические последствия «принципа партийности» показывают, насколько вредоносны фанатики, в особенности «авторитеты», завладевшие рычагами административного воздействия.

Не следует торопиться с публикациями. Ньютон очень долго ждал новых вычислений длины радиуса Земли, необходимых ему для подтверждения закона всемирного тяготения. В [235, с. 26] приводятся примеры многолетних задержек публикаций Гаусса и Пастера. Затянувшиеся сомнения, однако, могут остановить ученого на пороге крупного открытия (пример — А. Пуанкаре и теория относительности).

Ученый должен отстаивать истину независимо от авторитетов, личных и служебных отношений. Это означает возможность *аргументированной* критики любых ошибочных, неточных или неадекватных ситуации тезисов независимо от их источников: постановлений «Партии и Правительства», уставов и наставлений, приказов и директив, ГОСТов, почившего в бозе и даже живого классика естествознания, потенциальных оппонентов, научного руководителя и собственного начальника[11]. История русской и советской науки сохранила ряд поистине героических примеров подобного рода — см., например, воспоминания А. Н. Крылова о дореволюционном периоде и П. Л. Капицы о советском, а также борьбу с «облысением биологической науки».

Ученый должен быть готовым пересмотреть свои взгляды: в [235, с. 33–35] приводятся примеры признания своей неправоты А. Ф. Иоффе, И. П. Павловым и А. Эйнштейном перед оппонентами, имевшими в науке намного более скромный статус.

2.7.3. Ученый и коллеги

Общими требованиями научного сообщества к ученому являются:

- уважение к предшественникам, коллегам, соавторам; справедливая оценка и правильное отражение их и собственного вклада в решение проблемы;
- чувство ответственности за свои слова (и тексты);
- открытость: описание полученных результатов в виде, достаточном для выполнения независимой проверки;

[11] Разумеется, приказания по службе выполнять надо.

- недопустимость претензий *по любому основанию* ведомств, городов (столиц), организаций, научных школ и отдельных лиц на монополию в науке и истину в последней инстанции.

Комплекс специфических проблем порождает *работа в коллективе*. Я. И. Френкель [7, с. 202] считал, что при совершенном государственном строе порядочны даже мерзавцы — хотя бы из карьерных соображений. Научные коллективы в этом смысле ближе к совершенству, чем любые прочие, но все еще не достигают его. Первоочередные требования коллег к ученому суть трудолюбие и обязательность (безусловное выполнение *принятой на себя* работы, которая является частью коллективной). В науке в условиях финансового кризиса накапливается кадровый балласт [232, с. 44]. Из-за низкого уровня заработной платы, отсутствия современного оборудования, падения престижа научной деятельности фактически исчезла конкуренция за рабочие места. Идет приватизация и распродажа научных результатов, причем часто — не своих» [8, с. 274].

В коллективе должен поддерживаться демократический стиль общения с естественными поправками на разницу в возрасте и научной квалификации. Ученый может быть о себе очень высокого мнения, но должен помнить слова А. Грина: «Пушкин прекрасно знал, что он гениален. Но у него было достаточно ума и осторожности, чтобы никому об этом не говорить» [168, с. 10].

Чрезмерные выражения почтения к начальству неприемлемы: если человек не пользуется авторитетом, то он и не заслуживает уважительного обращения, если пользуется — лесть только оскорбит его. Нет необходимости распространяться о величии научных достижений шефа в его присутствии. С другой стороны, он оценит предложенную вами помощь в выполнении технической части работы, не входящей в ваши прямые обязанности. Эта проблема, к сожалению, была актуальной всегда: «... Ученые старшего поколения задыхались от недостатка помощников, от нехватки рабочих рук, а зеленые юнцы выискивали хозяина, который спросит поменьше, но зато не поскупится и проявит максимальную терпимость» (Н. Винер. «Я — математик». — М.: 1964, с. 260). Извечную истину «молодежь ныне не та» хочется подтвердить выдержкой из [132, с. 101] относительно событий 2500-летней давности: «Конфуций попал в опасность в Куане. Янь Хуэй отстал. Потом Конфуций сказал ему: "Я думал, тебя нет в живых". Янь Хуэй ему отвечал: "Как я смел умереть, если вы живы!" ».

Типичные для многих ученых нонконформизм и резкость суждений (этими качествами, к примеру, в высочайшей степени обладал Л. Д. Ландау) существенно осложняют межличностные отношения. Их (а также семейные проблемы соискателя) недопустимо учитывать при оценке его соответствия искомой ученой степени: наработанную квалификацию все же надо признать. С другой стороны, эти факторы должны быть обязательно приняты во внимание при продвижении соискателя по службе, в особенности на руководящий уровень.

Очень важно, чтобы члены коллектива, обладающие наивысшим творческим потенциалом, по достоинству ценили вклад рядовых коллег и сами не чурались черновой работы. Добрая традиция — благодарить в публикациях и устно за любую помощь.

При проведении экспериментов со сложной установкой, тонкими технологиями, при большой длительности опытов коллегиальность неизбежна. Так, в списке трудов Ж. И. Алферова [8, с. 58–59] упоминаются две статьи с 15 соавторами каждая. Однако, «чтобы представить диссертацию к защите из сделанной коллективно работы, ему (диссертанту — *Ю. Р.*) нужно выделить часть, которая якобы является его самостоятельным вкладом, что должно быть подтверждено руководителем работы... Это условие в корне противоречит здоровому духу коллективной работы, когда люди непрерывно обмениваются опытом и идеями, друг другу помогают и друг друга заменяют. Выделение "личной собственности" для защиты диссертации является противоестественным и тормозящим фактором» [96, с. 145]. С этими словами П. Л. Капицы нельзя не согласиться. Поэтому время от времени выдвигаются проекты введения коллективных защит, к настоящему времени не узаконенные (минусы такого решения явно перевешивают плюсы). Как средство разрешения этой коллизии иногда неофициально практикуется поочередная работа всего коллектива на диссертации отдельных своих членов «по кругу». В таких случаях этика исключает выход защитившихся из круга до его полного завершения.

Соискатель вправе использовать работы других авторов только с указанием соответствующих источников. Результаты соавторов и учеников диссертанта могут быть включены в его работу лишь при указании вклада конкретных разработчиков и роли самого соискателя (идея, схема прибора, технология, расчетный метод, анализ результатов эксперимента и т. п.). Нельзя насиловать подчиненных, принуждая их к соавторству. С другой стороны, не всегда оправданы претензии на соавторство «снизу». В таких случаях можно пользоваться простым

правилом: поскольку обычно указывается не более четырех авторов работы, отсекаются выполнившие менее четверти общего дела. Недовольным нужно предоставить возможность отдельной публикации.

Нельзя красть чужое *время* — самое дорогое, что есть у каждого из нас, в особенности у посвятивших себя науке. «Отвоюй себя для себя самого, береги и копи время, которое прежде у тебя отнимали или крали, которое зря проходило», — призывал Сенека в самом первом абзаце своих писем Луцилию [221]. Ученый или кандидат в ученые обязан:

- обращаться за советом и консультациями лишь после исчерпания собственных возможностей;
- быть предельно пунктуальным при всех контактах;
- представлять выносимый на обсуждение материал в отредактированном и аккуратно оформленном виде;
- тщательно готовить проводимые семинары, минимизируя их число и продолжительность каждого.

К сожалению, «те, кому уделили время, не считают себя должниками, хотя единственно времени не возвратит даже знающий благодарность» [221].

К этим соображениям хотелось бы добавить обращение к лицам, *руководящим* учеными, об экономии их времени «сверху»:

- Различайте работу и «антиработу».
- Распределяйте работу с учетом квалификации исполнителей.
- Сводите к минимуму число заседаний и количество их участников. Готовьте обсуждаемые материалы заранее и *предварительно* ознакомьте с ними участников мероприятия. От неизбежных заседаний добивайтесь *реальной пользы*.
- Воздерживайтесь от административных реформ, требующих больших трудозатрат многих исполнителей (в вузах истинным проклятием стали перманентная переработка учебных планов и программ, директивное написание планов и текстов лекций и составление «учебно-методических комплексов»).
- Оценивайте работу подчиненных по существу, а не по бумагам. Если вы на это неспособны, то *достигли своего уровня некомпетентности* — см. принцип Питера. Уступите кресло другому.

2.7.4. Ученый и общество

Основным этическим принципом в отношении ученого к обществу традиционно является бескорыстие: признание и вознаграждение должны быть не целью, а автоматическим *следствием* успехов в науке. В связи с этим напомним известный тезис Э. Резерфорда о том, что ученый должен зарабатывать на «хлеб с маслом, но не с джемом», и не служить мамоне («Краткий миг торжества. Как делаются научные открытия». — М.: Наука, 1988, с. 299). Вопрос о бутербродах с *икрой* (стоимость белужьей икры по ценам 2005 г. — свыше 1000 рублей за 100 г) им даже не ставился[12]. *Удовлетворение от красивого и полезного результата, признание коллег были и должны остаться высшим стимулом для ученого* — разумеется, при достойном вознаграждении за качество, количество и общественную полезность его труда.

[12] С другой стороны, по Д. Прайсу [111, с. 193] «хорошим ученым может быть лишь тот, кто ассоциирует со словом "черный" не слово "белый", а, например, "икра"».

Глава 3

Организация работы

Прежде всего отметим, что диссертация — авторская работа, и *категорических* рекомендаций здесь быть не может. Столь же индивидуальны стиль и методы работы в самом широком смысле слова. Однако мы настоятельно рекомендуем соискателям ученых степеней воспользоваться чужим опытом и советами знающих людей. Личный опыт со временем приведет вас к тому же, но вы рискуете заплатить за него слишком дорого.

3.1. Рабочее место

Рекомендации этого раздела даются по максимуму — без учета финансовых и иных ограничений, и должны учитываться *по возможности*.

Организации рабочего места должно быть уделено первостепенное внимание. Сначала следует решить «стратегические» проблемы (подбор и расстановка мебели, полок, ящиков, каталогов, папок, осветительных приборов, компьютера и т. п.). Рабочее место должно *настраиваться на каждый день* — с учетом вида и содержания спланированной предстоящей работы.

В очень обстоятельной книге [241], см. также [182], приводятся рисунки письменных столов разных лет, в том числе с дополнительными боковыми плоскостями и полками, а также их комбинации с секретером. Обсуждаются углубленные ящики для картотек, деление ящиков на секции посредством лотков с перегородками. Полезным инструментом представляется вращающаяся этажерка. Для часто используемой литературы (словари, справочник автора, книги по вычислительным

методам, теории вероятностей, статистике, компьютерным технологиям) желательна полка непосредственно над столом. В настоящее время относительно доступна заказная мебель, в том числе компьютерная.

Кресло необходимо поворотное («Хочешь жить — умей вертеться!»), с подлокотниками, регулируемой высоты и наклона.

На столе или поблизости от него должны быть компьютер, принтер, этажерка для компакт-дисков. Крайне желателен ноутбук: по нынешним временам это уже не роскошь, с ним вам не придется дополнительно переводить в электронную форму сделанные в библиотеке записи. Отметим исключительную ценность этого инструмента для демонстрации своих наработок (схемы, таблицы, графики, анимации) на конференциях и в учебном процессе.

Не следует гнаться за суперсовременным компьютером: недостатки собственной мыслительной деятельности этим не компенсируешь. То же относится к используемым программным продуктам, за версиями которых все равно не угонишься (кстати, «самые свежие» почти всегда не вполне отлажены, плохо инсталлируются, не реализуют ранее ставшие привычными технологии). По обоим этим пунктам нужно руководствоваться соображениями *разумной достаточности*. Жизненно важной является проблема защиты информации — прежде всего от младших братьев и детей-тинэйджеров[1]. Она решается организационными мерами: ограничением доступа, исключением игр и Интернета, парольной защитой и обязательно — *периодическим копированием наработок на съемные носители*.

Серьезное внимание следует уделять канцелярским принадлежностям: иначе вы будете постоянно портить себе настроение и терять драгоценное время. Безусловно необходимы карандаши и машинка для их заточки, мягкая и жесткая резинки[2], линейка, угольник, трафарет типа офицерской линейки или шаблонов для изображения схем алгоритмов, нож для резки бумаги, степлер, текстовыделители, клеевой карандаш.

Авторучек лучше иметь несколько: дома, на работе, с собой. Предпочтительны ручки «Pilot» с микрошариком и резиновой обкладкой и перьевые (помните, что «молодежь выбирает Parker»). Чернила для последних следует фильтровать.

---

[1]Сын коллеги автора переразметил жесткий диск, угробив папину докторскую.

[2]Основное оружие программиста. Программу с богатой логикой даже при большом опыте не удается написать без ошибок, поэтому крайне желательно составление укрупненной схемы алгоритма и схем критических участков. Да и в тексте программы неизбежны многочисленные поправки.

Для записи потенциальных озарений и просто на всякий случай нужно всегда иметь с собой блокнот — лучше из клетчатой бумаги. Записи делаются на одной стороне листа. Исписанный блокнот прореживается; оставшееся сортируется по рабочим папкам и их карманам.

В связи с большой нагрузкой на глаза следует применять антибликовый экран, защититься от прямого источника направленного света. Очки должны соответствовать глазам. Величина экранного шрифта устанавливается с учетом остроты зрения; мелкий шрифт, появляющийся эпизодически, удобно читать с помощью крупноформатных плоских линз Френеля. Для текстовых редакторов следует использовать более насыщенные шрифты без засечек. Желательна возможность периодического отдыха для глаз путем перевода взгляда на удаленные объекты. Предпочтителен монитор с жидкокристаллическим экраном, который:

- не бликует;
- обладает повышенной четкостью;
- более безопасен в смысле излучения;
- занимает меньше места на столе.

Некоторые мониторы этого типа обладают поворотным экраном и оснащаются соответствующим драйвером. Рациональное использование площади экрана при наборе и отладке рукописи фактически превращает 15" монитор в 20-дюймовый.

3.2. Режим дня

Прежде всего отметим, что действия надо согласовывать с возможностями — как генератор с нагрузкой. Нужно иметь три списка проблем: стратегический (перспективный), оперативный (на неделю) и ежедневный. Сделанное надлежит вычеркивать, а оставшееся содержимое пополнять и корректировать, при необходимости изменяя приоритеты. Для разработки таких планов чрезвычайно полезны сетевые графики (см. разд. 3.9).

Следуя совету М. Монтеня, сосредоточьтесь на *собственных* проблемах: если и брать чужие, то только «в голову, но не в сердце и не в печень». Жизненно важно уменьшать фрагментацию рабочего времени, объединяя вынужденные отвлечения в рамках недели и отдельного

дня; работать при переездах и на многолюдных совещаниях (именно для этого и нужны записные книжки). Время на творческую работу нужно резервировать «наперекор всем стихиям».

Производительному труду способствует его жесткий распорядок. Поэтому очень важен психологический настрой на интенсивную работу. А. Г. Постников требовал от своих аспирантов (после предварительного согласия) обязательного ежедневного посещения института и работы в течение полного трудового дня, внешней подтянутости, управления эмоциями: «Медицинские сестры знают, что прогноз относительно течения болезни более благоприятен для больных, тщательно прибирающих свою койку» [177, с. 19]. На пик производительности следует относить теоретическую работу, программирование, написание первых вариантов текста.

П. Л. Капица [96, с. 107] писал, что работа «запоем» вредна — она выматывает человека и понижает его творческие силы. По его мнению, научный работник должен иметь время на то, чтобы *обдумать свою работу*, читать, учиться и отдыхать. По этой причине он запрещал своим сотрудникам задерживаться в институте по окончании рабочего дня. Режим, сдвинутый относительно общесемейного (см., например, повесть А. Житинского «Глагол "Инженер" »), уменьшает объем необязательных контактов и отвлечений от работы. Разумеется, им можно пользоваться лишь на коротких (критических) интервалах времени.

Заклятые враги ученого — алкоголь и телевизор. По мнению акад. Ж. И. Алферова [8, с. 303], «когда смотришь телевизор, то в голову поневоле приходит мысль, что мощное оружие масс-медиа используется для оболванивания и одурачивания миллионов людей в нашей стране». Того же мнения придерживается и генеральный конструктор подводных лодок акад. С. Ковалев: «Телевизор культивирует идиотское хохмачество, секс и насилие».

Нужно искать индивидуальные средства втягивания себя в работу: А. С. Пушкин, например, многократно писал о стимулирующем действии живого огня в печи или камине. Одежда должна быть свободной. Воротнички, галстуки, костюм затрудняют дыхание и снижают работоспособность: Эйнштейн всю жизнь ходил в растянутом свитере.

Производительность умственной деятельности повышается на фоне слабых помех (тихая музыка[3], шелест страниц в читальном зале, кот на коленях). Кардинал Ришелье при организации в XVII в. Французской

[3]Ни в коем случае нельзя пользоваться наушниками: в этом случае музыка звучит *внутри* головы, что исключает любую умственную работу.

Академии предусмотрел в ней штатные должности... котов, справедливо считая этих животных не только повышающими сохранность книжного фонда, но и благотворно влияющими на ученых. «Кошки — лучшие сотоварищи ученого, так как уважают его труд», — говорил alter ego А. Франса г-н Бержере («Аметистовый перстень»). Напротив, идеальная тишина действует угнетающе и вызывает сонливость.

Нужно периодически (но не часто) отвлекаться, менять ритм и вид занятий. Театр, беллетристика («изящная словесность» в *точном* смысле слова), поэзия, музыка, посещение музеев, прогулки на природе, общение с друзьями и семьей — в разумной дозировке не потери, а приобретение. В воспоминаниях о Я. И. Френкеле применительно к нему цитируется старинная мудрость: «Человек может добиться в жизни так много, насколько позволит ему жена».

Длительность и интенсивность умственного напряжения нужно соотносить с поставленными задачами, располагаемым временем и физическими возможностями. При переутомлении следует прекращать работу за два часа до сна, исключить чай и кофе в вечернее время. Заслуживают внимания приемы аутогенной тренировки: в [168, с. 134] приведена «снотворная» последовательность из 28 формул.

3.3. Направление, проблема, цель

Как справедливо отмечает А. Л. Фрадков [245], область науки похожа на цветущий луг, по которому прошлось большое стадо. Трава в основном съедена, наиболее жирные куски вытоптаны до земли. Местами трава только примята, но чересчур жестка. Чтобы съесть ее, требуется слишком много усилий, и *крупные* животные ищут новое пастбище.

Первое, что должен сделать соискатель, — определиться с направлением работы. В типичном случае необходим компромисс между новизной и изученностью. «Только молодость стремится заняться новой, модной областью, полагая, что в ней легче добиться чего-нибудь существенного... Однако они более подходят для опытного исследователя» [191, с. 170]. Будущий *доктор наук* должен знать направление сам (оно формируется годами в процессе его научно-исследовательской работы). Однако в начале научной карьеры исследователь не может представлять себе ни перспектив будущей работы, ни ее границ, ни места в системе знаний, ни методов, пригодных для ее выполнения. Ориентация его — это обязанность научного руководителя [135, с. 13]. Отсюда вытекает рекомендация *выбирать не тему, но специальность, коллектив,*

руководителя. Слишком ранняя самостоятельность, попытка продолжать случайно выбранную студенческую работу заметно понизят ваши шансы на успех. Подождите кандидатской степени!

Будущий *кандидат*, пришедший в аспирантуру (адъюнктуру), должен ознакомиться с традиционными для кафедры направлениями и научными интересами потенциальных руководителей и сделать выбор с учетом своих склонностей и способностей (теоретические исследования, программотехника, разработка схемных решений, физический эксперимент), опыта работы в студенческом научном обществе и практической работы после выпуска.

При выборе теоретического направления следует позаботиться о его «дальнодействии», которое обеспечивается только запасом общности. Практическую работу, какой бы важной она ни казалась, следует начинать (особенно в молодой науке) с предварительного теоретического осмысления и определения перспективности. Может оказаться, что надо делать совсем не эту работу, а нечто более общее, которое покроет затем все применения. Известен пример с непосильным букетом директивных заказов Институту кибернетики АН УССР на моделирование разнотипных процессов. Директор института акад. В. М. Глушков посоветовал начальнику отдела Т. П. Марьяновичу начать с разработки *языка моделирования дискретных систем* — что и решило проблему.

Особенностью нынешнего уровня науки и техники является повсеместное использование *больших систем*, для которых путь от идей до реализации очень долог. Соискатель, включенный в разработку с дальней перспективой, рискует не представить диссертацию в срок. Он должен поставить свою задачу так, чтобы ее решение работало на упомянутую перспективу, но при этом смотрелось как самостоятельный результат.

Направление должно входить в одну из плановых или предполагаемых НИР — это обязательное условие поддержки и заинтересованности коллектива, предоставления необходимых ресурсов, контактов с внешними организациями, сравнительной легкости получения отзывов и внедрения будущих результатов. Главное требование к выбранному направлению — *актуальность* (расстановка приоритетов со временем меняется). Акад. Ж. И. Алферов считал [8, с. 293], что «недооценка роли микроэлектроники и компьютерных технологий на самой ранней стадии их развития, когда этой области надо было придать приоритет, не уступающий ракетно-ядерным технологиям, привела к очень тяжелым последствиям для всей экономики страны, в том числе и в социальной сфере». По его данным [8, с. 360], после распада СССР электронная промышлен-

ность фактически рухнула, частично сохранившись лишь в России (не более 20% от объемов 1988-89 гг.) и в Белоруссии (60-70%). Технология осталась на уровне середины 1980-х годов. Если в мире в 2003 г. использовались СБИС с топологическим размером 0.13–0.16 микрона, то мы застряли на уровне 0.8–1.2 микрона. Воистину, «наши большие интегральные схемы — самые большие в мире»! Отметим, что в 2004 г. компания Intel начала производство микропроцессоров на интегральных схемах с литографическим размером 0.065 микрона. Таким образом, нанотехнологии являются более чем оправданной «точкой роста» — под руководством А. Б. Чубайса.

В наше время наблюдается преувеличенный бум вокруг проблем защиты информации в вычислительных сетях. Сравнительная динамика направлений в области автоматики (у нас и за рубежом) анализируется в статье [245, разд. 8]. В [166] перечислены базовые технологии в авиационной технике, спецхимии (в частности, процессы «коммуляции»), оптики и оптоэлектроники, ракетно-космической техники, судостроения, радиоэлектроники, средств связи. Президентом РФ В. В. Путиным в 2002 г. утвержден Перечень критических технологий, финансируемых на приоритетной основе.

Как правило, ученые советы и научно-исследовательские отделы вузов имеют утвержденные перечни главных научных направлений, вписаться в которые несложно. Например, в статье ректора МИФИ из сборника [51] отмечается, что в институте создано 16 главных научных направлений, непосредственно связанных с аналогами министерств, госкомитетов и Академии Наук. Ссылки на номера и названия таких направлений обязательно отражаются в диссертации, автореферате, заключении диссертационного совета и рассматриваются как свидетельство актуальности работы.

Направление работы должно укладываться в рамки специальностей совета, на котором предполагается защита. Согласно Положению, их может быть не более пяти (практически две-три), причем профиль кафедры дополнительно сужает область поиска. В совете можно ознакомиться с *паспортом специальности*, формула которой определяет охватываемую часть соответствующей отрасли знаний, ее научное и практическое значение. Далее в паспорте перечисляются предметные области (направления) и отрасли наук (технические, экономические, военные, химические, физико-математические и т. д.), по которым могут присуждаться ученые степени. Паспорта научных специальностей разрабатывались при участии РАН, Министерства образования и науки. Они спо-

собствуют консолидации интеллектуальных ресурсов страны на наиболее востребованных направлениях исследований.

К паспорту специальности прилагается программа общей части кандидатского экзамена, которая дает достаточно ясное представление о минимально необходимом для написания кандидатской диссертации багаже знаний. Дополнительная программа для второй части экзамена составляется под каждого соискателя *персонально* с учетом направления его работы и может включать как расширенные и углубленные разделы общей части, так и новые разделы из смежных областей знания.

Следующий шаг — поиск *проблемы*. Дж. Бернал писал: «Гораздо труднее найти проблему, чем ее решить. Первое требует воображения, второе — только умения». Под проблемой принято понимать противоречивую ситуацию (между потребностями и возможностями, новыми фактами и старыми теориями), когда приходится искать и использовать новые средства и способы деятельности. Обычно это *возникающий из значимых практических потребностей вопрос или комплекс вопросов, на которые нет ответов в накопленном знании*. По словам А. Пуанкаре, по-настоящему интересные проблемы не допускают однозначного ответа «да — нет». Приведем примеры противоречий: между возможностями новых видов военной техники и способами ее применения; сложностью и надежностью системы; возросшим объемом операций в центре управления сложной системой и повышением требований к оперативности управления. Однако наука может и должна работать и под действием *внутренних* стимулов. Такие работы отличаются большей общностью, сложностью и теоретической ценностью. Практическая применимость результатов диссертации по техническим наукам все же должна просматриваться.

Мы будем считать, что как кандидатская, так и докторская диссертации решают некоторую *проблему* (различного масштаба).

Прежде всего выясняется *степень проблемности*:

- «вообще не проблема» (решение тривиально либо принципиально отсутствует — как вечный двигатель);
- «уже не проблема» (решение недавно получено);
- «еще не проблема» (отсутствует социальный заказ либо нет даже намеков на пути возможного решения);
- «реальная проблема».

Должен существовать разумный баланс между значимостью проблемы и вероятностью ее решения. По этому вопросу необходимо консультироваться с руководителем.

Анализ «реальной проблемы» по [251, с. 43] включает следующие этапы:

- четкое выделение решенных и нерешенных вопросов;
- раздельное обобщение и систематизация этих групп;
- установление точек соприкосновения (сопряжения) нерешенных вопросов с известным знанием;
- решение обуславливающих частных и вспомогательных задач;
- установление зависимости между фактическим материалом и условиями творческого поиска;
- определение направления проводимого исследования и исходных позиций;
- определение круга научных фактов, констатирующих отдельные этапы научного поиска;
- окончательное оформление структуры проблемной ситуации.

В оценку проблемы входит определение всех необходимых условий и средств, включая источники финансирования.

В проблеме должна быть «научная эмерджентность» — несводимость к *сумме* частных задач. Это одна из причин, по которым докторская диссертация не может быть сведена к сумме кандидатских. Композиция целей, постановок задач и их решений должна нанизываться на единый идейный стержень работы («шампур»). При его отсутствии трудно сказать, за что присуждается степень. Ответить на этот вопрос должен сам диссертант (позже его могут подправить).

Полезно сразу проверить проблему на *вариабельность*: это открывает альтернативные решения, облегчает обоснование выбранных решений и создает страховку на случай попадания в тупик. Подчеркнем примат проблемы над методом: *новизной должна отличаться идея, а не инструмент*. Поскольку «восхищения заслуживают достижения, а не цели и средства» [220], предпочтительно использование самых простых и надежных инструментов — это повысит доверие к результатам и покажет зрелость соискателя.

Решение проблемы означает установление общих закономерностей или (в прикладных исследованиях) разработку новых методов или технических решений. В работах по техническим наукам обычно сочетаются элементы фундаментальных и прикладных исследований. Соотношение между ними колеблется в широких пределах, но *ни одна из названных компонент не должна сводиться к нулю*.

Задачей считается проблема, решаемая известными методами. Узнать, хороша ли задача, можно только одним способом: надо ее решить [12, с. 13].

Найденное противоречие позволяет определить конкретную *цель*. Целью называется мысленное предвосхищение результата, ради которого предпринимаются те или иные действия. Нельзя даже говорить об управлении, если нет четко поставленной цели: *бесцельного управления не бывает*.

При решении проблемы или задачи можно выделить целеполагающую и целесообразную деятельность. Любая цель связана с вопросами:

- что нужно сделать (предметный аспект);
- как этого добиться (ситуационный);
- зачем это делается (мотивационный).

Это наиболее ответственный момент на начальном этапе работы. *Мнящие суть в несути и видящие несуть в сути, они никогда не достигнут сути, ибо их удел — ложные намерения* (Дхаммапада, I, 11). Перед составлением программы действий для достижения цели мы в общем случае должны задаться некоторым *сценарием* внешней обстановки.

Во многих диссертациях целями исследований называют не *повышение эффективности* предмета исследования, а его совершенствование или разработку методов, алгоритмов и методик. При таком подходе невозможно оценить значение выполненной работы для теории и практики — и, следовательно, защищать ее. Цель должна отражать *утилитарный* аспект будущей диссертации: повышение эффективности применения объекта исследования, измеряемое одним или несколькими показателями (вероятности поражения цели, правильной передачи сообщения, обслуживания заявки за директивное время; среднее значение наносимого или предотвращенного ущерба и т. д.). С этими *конечными* целями должны быть количественно связаны частные цели, достижение которых будет непосредственным результатом работы:

- повышение функциональных возможностей устройства (системы) по мощности, точности, производительности, быстродействию, теплоотдаче и т. п.;
- уменьшение затратных характеристик (объема, веса, энергопотребления, стоимости);
- улучшение эксплуатационных показателей (уменьшение частоты отказов, времени диагностики и ремонта, численности обслуживающего персонала);
- снижение вредных воздействий на персонал и окружающую среду.

Как правило, улучшение одних параметров вызывает ухудшение других (почти всегда — снижение экономичности, если только она не выбрана основным показателем). Другими типичными противоречиями являются отношения между сложностью и надежностью, быстродействием и точностью. По современным воззрениям, техническая проблема должна ставиться как задача *многокритериальной оптимизации*. Поэтому всегда приходится искать наивыгоднейший компромисс. Такие решения можно наглядно сопоставлять с помощью *лучевых диаграмм* (см. разд. 7.7.5).

С другой точки зрения цель рассматривается как проект действий, определяющий характер и системную упорядоченность различных операций и актов исследования. Цель декомпозируется на частные задачи (см. ниже). *Научную цель нельзя путать с практической.*

Цель ставится применительно к *объекту* исследования — процессу или явлению, порождающему проблему, или совокупности исследуемых сторон объекта в их взаимосвязи. В последнем случае говорят о *предмете* исследования.

3.4. Работа с литературой

Луи Пастер призывал юношей не поддаваться бесплотному и все отрицающему скептицизму, но жить в трудовой обстановке лабораторий и библиотек. Информация — это важнейший ресурс в современном обществе. Считается [27], что если бы Маркс жил сегодня, он написал бы не «Капитал», а «Информацию».

Любая научная деятельность начинается с изучения состояния вопроса по литературным источникам. Сбор информации нужно начинать сразу после определения направления исследований, вести его

ретроспективно (от новейших работ к более старым), по учебникам и монографиям, с постепенным сужением зоны поиска и в трех разрезах:

- по программе подготовки к сдаче кандидатского экзамена;
- по объекту (предмету) исследования;
- по возможным методам решения проблемы (математическим, экспериментальным и иным).

Время предварительной работы с литературой следует ограничить: чрезмерная эрудиция может стать препятствием к творческой деятельности. «Читать — значит думать чужой головой вместо своей собственной» ([258, с. 283]).

3.4.1. Поиск

Основная трудность порождается обилием источников. Еще в 1613 г. английский автор Б. Рич писал: «Одна из болезней нашего века — засилье книг. Их столько расплодилось в мире, что и не уследишь за всей чепухой, которая выводится каждый день и идет гулять по миру» [27]. Приводимые в книгах по науковедению [27, 77] графики роста числа публикаций в полулогарифмическом масштабе содержат прямолинейные отрезки, указывающие на продолжающийся сотни лет экспоненциальный рост. Разумеется, «*неграмотному никакой информационный взрыв не угрожает*». С другой стороны, этой информации чрезвычайно мало существенной и оригинальной. Ее распространение может даже мешать научной работе и научному творчеству, так как закрепляет научные ошибки данного времени. Необходимы ее отбор и *приведение в систему*, что требует более высоких способностей, чем простое запоминание. «Мозг, хорошо устроенный, стоит больше, чем мозг, хорошо наполненный».

Э. Мах [181, с. 100] видел задачу науки в том, чтобы *организовать* данные науки в как можно более экономном порядке. Это относится и к каждому отдельному ученому. Первым шагом должна быть работа с систематическими каталогами крупнейших библиотек (в пределах досягаемости соискателя и через Интернет). Современная библиотека — это не только книги, но и компьютерные залы, участки сканирования, интернет-классы, видеотеки. Переоснащению и реорганизации работы библиотек уделяется большое внимание во всех развитых странах.

В Голландии за последние годы открылись 164 новых библиотеки; в Китае количество библиотек удвоилось, а количество читателей увеличилось в пять раз. Более ста новых библиотечных проектов разработано в Англии, свыше 30 — в США. По словам министра культуры Финляндии, библиотеки являются приоритетом культурной политики этой страны, опережая музеи и театры («СПб. Ведомости», 4.12.2001). Эти новации постепенно приходят и в Россию.

Начиная научную работу, прежде всего запишитесь в лучшие (в пределах досягаемости) научно-технические библиотеки и ознакомьтесь с их структурой и оснащением. Выпишите расписание работы абонемента, читального зала, отдела ксерокопирования, микрофильмов, справочной библиотеки, интернет-класса и др.

Познакомьтесь с доступными читателям каталогами. Ключ к *систематическому* каталогу дает *алфавитно-предметный*. В нем в алфавитном порядке перечислены наименования отраслей знания, отдельных тем и вопросов. Знакомство с систематическим каталогом и рубрикатором универсальной десятичной классификации (УДК) или библиотечно-библиографической классификацией для научных библиотек (ББК) помогает быстро уяснить укрупненную структуру соответствующей области.

Внутри раздела систематического каталога с разбивкой по годам (начиная с текущего) помещаются работы общего характера, монографии и учебники. Затем идут тематические рубрики. Надо записать номера наиболее полезных ящиков — чтобы затем быстро находить новинки. При необходимости освоения новой для себя области нужно воспользоваться библиотечным сервисом. В ряде случаев могут быть полезны каталоги персоналий, ключевых слов, журнальных статей.

Библиотечные каталоги в принципе не могут быть ориентированы на узкие специальности. Поэтому нужно формировать структуру *собственного* каталога. В последнем сразу же выделяются учебники и обзорные монографии, а также труды конференций. Первым приближением к структуре каталога может служить содержание (на уровне глав и разделов) современного учебника, перекрывающего вашу проблему или значительную ее часть. Дальнейшая детализация и заполнение разделов проводятся уже в ходе исследований.

С учебной литературой последних лет издания следует знакомиться для входа в новую область знания, с монографиями и трудами конференций — для уяснения современного состояния вопроса, проблем и «точек роста» соответствующей науки (отрасли техники). Следует выяснить, в каких журналах и сборниках трудов публикуются интересующие вас ста-

тьи. Нужно помнить, что содержимое монографии (и даже журнальной статьи) отражает результаты минимум двухлетней давности.

Начинающие исследователи неумело пользуются рабочим аппаратом книги для извлечения нужной информации и, выбрав книгу, сразу же приступают к ее чтению подряд. По этой причине важные факты, которые можно извлечь из аннотации, предисловия, введения и оглавления, проходят мимо внимания читателя [167, с. 64–65].

3.4.2. Справочные издания

После завершения этапа «первоначального накопления» следует закинуть сети с более мелкой ячеей — на статьи и диссертации. Полезно работать с летописями авторефератов диссертаций, в которых дан полный перечень их библиографических описаний. В последних за год номерах журналов обычно помещается сводный перечень статей (алфавитный и систематический). Иногда такие указатели издаются отдельными выпусками за несколько лет. Поиск литературы следует вести *ретроспективно* — от нескольких свежих публикаций в прошлое по библиографии и ключевым словам. Полезно делать извлечения из списков литературы к заинтересовавшим вас статьям и монографиям.

В справочном отделе хорошей библиотеки с помощью библиографа можно найти разнообразные «Digests», «Abstracts», «Итоги науки», обзоры, реферативные журналы и указатели, через которые легко пополнить библиографическую базу без непосредственной работы с журналами. Могут быть полезны книжная летопись, летопись журнальных статей, бюллетень изобретений.

Обзоры стареют медленнее, чем первичные документы, и позволяют видеть *тенденции* развития данной отрасли науки. По ГОСТ 7.23-80 обзор должен содержать реферат, вводную часть, аналитическую (основную) и выводы. Во вводной части обосновывается выбор темы с указанием актуальности и значимости вопроса, цель обзора, даются временной интервал и круг источников, тематические границы. *Эти требования нужно учитывать при написании обзорной части диссертации.*

3.4.3. Новейший сервис

В последние годы появились компьютерные информационные системы, которые выдают библиографические списки по заданной комбинации ключевых слов (больше слов — короче список). Например, Библиотека

Академии Наук предоставляет следующие платные услуги: поиск информации на CD-ROM, выполнение письменных фактографических справок, составление письменных тематических списков литературы, распечатку информации.

С мая 2001 г. в рамках договора, подписанного между Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и Институтом научной информации США, открыт постоянный доступ к базе данных Science Citation Index для пяти российских академических библиотек и их филиалов. База охватывает почти 6000 журналов, содержит массивы с 1996 г. и обновляется еженедельно. Возможен самостоятельный доступ к базе в интернет-классе отдела библиографии.

3.4.4. Личные каталоги

Все источники нужно выписывать на отдельные карточки в таком же виде, в каком они должны упоминаться в списке литературы к диссертации. Кроме того, на карточке надо указать библиотеку, библиотечный шифр, проблему, метод, результат, а также *ключевые слова*, характеризующие содержание источника (возможно, с разных точек зрения — например, проблемы и метода решения). Обязательно заносите в карточки *оценку полезности источника* (для вашей работы) и очередность его детальной проработки. Карточка включается в личные электронные каталоги — алфавитный и систематический. «Физическая» (в смысле «картонная») карточка вам потребуется для новых походов в библиотеку, а электронные каталоги — для быстрого поиска нужной информации по ключевым словам. Для регулярно читаемых журналов нужно вести отдельную картотеку с отметкой просмотренных томов и номеров. Отдельно фиксируются *специальные* выпуски журналов, затрагивающие близкие вам задачи.

Для облегчения подготовки публикаций по частным вопросам полезно вести *сводный* библиографический указатель. Эта работа частично автоматизируется входящей в состав LaTeX'а системой BiBTeX.

3.4.5. Объекты и цели чтения

После отработки в указанном выше смысле библиографических источников можно приступить к непосредственному изучению статей и книг, одновременно продолжая пополнение информационной базы по свежим номерам отслеживаемых журналов и выставкам новых поступлений. Отдавайте предпочтение работам фундаментального и методи-

ческого характера. При эпизодических выходах в смежные и особенно несмежные области пользуйтесь энциклопедиями и специализированными словарями, имея в виду, однако, что содержащиеся в них сведения могут быть устаревшими на десятилетия. Читая статьи в солидных журналах, перенимайте приемы аргументации, стиль мышления, приемы реферирования.

Нельзя стать профессионалом, не работая с *первичными* источниками (было замечено [31], что «филологи читают не поэтов, а критиков»). Можно по-разному относиться к классикам марксизма, но даже самый отпетый либерал не сможет отрицать, что работать с книгой они любили и умели. В. И. Вернадский с глубоким уважением относился к Карлу Марксу *как к ученому* именно потому, что в основу «Капитала» был положен огромный, тщательно и добросовестно собранный фактический материал [43, с. 10]. Энгельс писал «Диалектику природы» 13 лет. Для этого им было прочитано около 90 книг по естествознанию, процитировано 260 авторов. Чтобы написать свою книгу об империализме, В. И. Ленин прочитал 148 книг, 22 журнальных статьи, составил конспект в 22 тетрадях объемом 43 печатных листа [128, с. 76]. Заметьте, что Интернета в их распоряжении не было!

Кризисное состояние теории заставляет естествоиспытателя глубже вдумываться в логическое содержание используемых понятий, ибо столкновение различных концепций вскрывает противоречивость этих понятий. Это вынуждает обратиться к первоисточникам, чтобы выяснить, как ставилась проблема изначально. Для лучшего проникновения в дух избранной науки, строй ее мышления «следует перечитывать книги Начал и Основ» [1]. Эйнштейн с особым вниманием работал над трудами Ньютона. По его словам, «Ньютон знал слабости построенной им системы лучше, чем последующие поколения ученых» (речь идет о понятии *абсолютного времени*). Столь же высоко ценил работы Ньютона и акад. А. Н. Крылов, затративший несколько лет на перевод с латыни «Математических начал натуральной философии». Лаплас и Гаусс настоятельно рекомендовали постоянно обращаться к трудам Эйлера: «Если вам кажется, что вы что-то открыли, или у вас назревают мысли о грядущих открытиях, то читайте, читайте и еще раз читайте Эйлера: у него вы натолкнетесь или на что-то уже сделанное в этой области, или найдете указание, как следует вести работу» [137, с. 66]. В [177, с. 41] приведены конкретные примеры пользы обращения к математическим работам двухсотлетней (Лагранж) и столетней (Кронекер) давности.

В процессе *ознакомления* с областью науки важно зафиксировать обсуждаемые проблемы и методы и литературу по ним. Иерархия проблем и совокупность методов постепенно сформируют логическую структуру вашей информационной базы. Не нужно сразу вникать в детали, копировать фактографию, воспроизводить или проверять математические выкладки: *запишите, где это можно отыскать*. Особое внимание обращайте на новые *методы* — каждый из них может открыть вам возможность решения целых *классов* задач. Формируйте личную библиотеку книг по математике (классический анализ, линейная алгебра, теория вероятностей, численные методы), математическим пакетам (рекомендуем для начала обзорную работу [206]), программированию на выбранном языке (лучше всего на новейших версиях *Фортрана* — см., например, [18, 205, 212]) и, разумеется, по узкой специальности.

3.4.6. Методика чтения

Изучать литературу нужно с большим разбором и начинать с книг, которые сулят наибольшую добычу и формируют каркас знаний. «Разве чтенье множества писателей и разнооообразнейших книг не сродни бродяжничеству и непоседливости? Нужно долго оставаться с тем или другим из великих умов, питая ими душу, если хочешь извлечь нечто такое, что бы в ней осталось» [221, II, 1]. Ученые с большим опытом составляли планы чтения на 10 и 15 лет [49, с. 33]. А. Эйнштейн имел расписания на месяц, семестр и год и выполнял их неукоснительно.

Чтение книги начинается с просмотра ее оглавления и наиболее интересных разделов. При работе с книгой нужно одновременно выписывать номера страниц для ксерокопирования или считывания посредством сканера. В книгах из личной библиотеки можно делать подчеркивания и закладки, подцвечивать фрагменты рисунков, схем и графиков. На каталожных карточках отмечаются факт конспектирования и ссылка на номер (место) конспекта (ксерокопии, микрофильма).

Каждый научный работник должен владеть навыками *динамического* чтения — способностью изменять как скорость чтения, так и коэффициент усвоения в зависимости от цели чтения и сложности текста. Уникальные читательские способности имел И. И. Соллертинский — выдающийся музыковед, художественный руководитель Ленинградской филармонии. Он обладал феноменальной памятью и навыком «партитурного» чтения — профессионально необходимым для дирижеров умением с одного взгляда охватить и усвоить целую страницу текста. Такие же способности были у О. Бальзака и А. М. Горького.

Специальными тренировками или просто интенсивной работой продуктивность чтения (произведение скорости чтения на коэффициент усвоения) можно увеличить в 2–3 раза. Скорость чтения у прошедших курсы динамического чтения достигала 5 и даже 20 тыс. слов в час (по данным [167, с. 65] — до 240–600 страниц в час). Возможный эффект варьируется в зависимости от сложности текста и для научных текстов весьма скромен. И вообще, «черпать надо не сколько хочется, а сколько можешь вместить» [221, CVIII, 2].

Чтение бывает *выборочное* (с пропуском отдельных участков текста) и *сплошное*. Сплошное делится на ознакомительное, изучающее, корректорское и критическое; выборочное — на ориентировочное, поиск, просмотр. Рассмотрим сначала виды выборочного чтения.

Ориентировочное используется при первом знакомстве с книгой (автор, название, аннотация, предисловие, оглавление) и позволяет определить, стоит ли ее читать. Поиск и отбор литературы обязательно связаны с ориентировочным чтением.

Чтение-поиск выполняется при поиске конкретной информации в энциклопедиях, справочниках, реферативных изданиях. Здесь помогают оглавления, предметные и алфавитные указатели.

Просмотр производится для выявления в короткий срок основного содержания текста. Для этого необходимы хорошие навыки сплошного чтения и владение существом предмета. Людям, имеющим большой запас знаний и тренированный интеллект, присуще чтение «по понятиям»: из текста выбираются ключевые слова, по которым в одном или нескольких предложениях синтезируются характеристика состояния вопроса и оценка альтернатив. Максимально точно записываются формулы, определения, схемы, цитаты (с указанием страницы), фактические данные. Выписки делаются обязательно с указанием источников — в том виде, в каком это нужно для включения в библиографию. В собственных книгах, конспектах и ксерокопиях необходимый материал *выделяется*. При чтении можно пользоваться цветовой или буквенной системой разметок: к примеру, Л — ознакомиться с литературой, М — ценная мысль, ? — проверить, Ха! — использовать как объект для критики.

Наиболее важные идеи, связанные с темой диссертации, фиксируются в виде цитат, авторских рассуждений, разного рода пометок и т. д. В рамках этой работы постепенно вызревает следующий этап — продумывание логики изложения раздела.

Сплошное чтение литературы по специальности требует особых навыков. Есть авторитетное мнение, что «гений — это неустанное внима-

ние» (Ж. Кювье). Судя по художественной литературе, развитие внимания является важнейшим элементом подготовки разведчиков — см. описание «игры драгоценностей» в «Киме» Р. Киплинга и сдачи экзамена в «Аквариуме» В. Суворова. *Чтение сопрягается с размышлением и проецированием прочитанного на собственные проблемы.*

Ознакомительное и изучающее сплошное чтение связано с работой *памяти*. Память обеспечивается процессами запоминания, сохранения, узнавания и воспроизведения. Она бывает образной, эмоциональной, двигательной и словесно-логической. Лучше, если используется комбинация видов памяти. Запоминанию текста способствует его запись (здесь дело вовсе не в «моторике», а в мысленной переработке текста).

Память бывает кратковременная (объема 7 ± 2 логических единицы), оперативная и долговременная. Кратковременные единицы встречаются в оперативной памяти с долговременными; при этом формируются новые комплексы, из которых часть забудется, а часть перейдет в долговременную память. Для эффективного использования памяти надо стараться увеличивать объем единиц, т. е. запоминать «по-крупному». Читая, мы осуществляем смысловое свертывание текста, заново конструируя его содержимое своими словами. Первый этап свертывания — это выделение ключевых слов.

Работа долговременной памяти сводится к раскладке информации по *знакомым* полочкам. Поэтому долговременное запоминание возможно только при сложившейся в уме *структуре знаний* предметной области. Прежде всего следует осознать, для чего (в связи с чем) надо запомнить; затем — смысл запоминаемого.

3.4.7. Накопление тезауруса

Детальная проработка первоисточников сводится к краткому конспектированию их содержания и подробному — наиболее ценных для работы фрагментов. Не следует слишком увлекаться конспектированием: компиляция — это еще не творчество, она отнимает много времени и может подсознательно перейти в опасную привычку.

Конспект — сжатое изложение всего существенного в содержании источника. Качество конспекта определяется не объемом, но емкостью применительно к теме. Писать следует на одной стороне листа — чтобы можно было разрезать страницу на части и поместить последние в разные разделы работы. Имеет смысл расчерчивать страницу на поля для источника, последующих дополнений к нему и собственных мыслей.

Предпочтительно начинать с конспекта наиболее полного источника, а затем дополнять его по другим. Выписки делаются *с некоторой целью* (которая, возможно, еще не вполне ясна). Для ускорения конспектирования нужно сокращать слова. Иногда от слова можно оставлять корень, иногда — согласные; для последущего воспроизведения *цитат* обязательно нужны и окончания.

Обращайте внимание на числовые данные, которые можно будет использовать как контрольные или базу для сравнения; фиксируйте все условия их получения. С фрагментов, содержащих много формул, большие таблицы и особо ценные графики, для экономии времени и исключения ошибок следует снимать ксерокопии.

При конспектировании отмечайте возникающие «научные эмоции», идеи, возможность использования, аналогии (можно разработать и применять систему пометок как «личный стандарт»). Пометки должны быть лаконичны и ясны — как дорожные знаки для транспорта. Сложные научные термины заменяются наглядными символами, например:

$\in$ — входящий, включаемый;

$\exists$ — существует, существующий, существенный;

$\forall$ — всякий, любой, общий, общественный;

$\rightarrow$ — движется, идет, стремится;

$\uparrow$ — растет;

$\downarrow$ — снижается;

$\Rightarrow$ — следование;

$\Uparrow$ — вышеуказанный;

$\Downarrow$ — в дальнейшем;

Δ — приращение, поправка;

$R\&D$ — «исследования и разработки»;

$\sum$ — сумма, итог, вывод;

$\prec$ — уступает;

$\succ$ — превосходит, предпочтительнее, лучше;

`user` — потребитель, эксплуатационник, пользователь;

own — собственный, личный;

$ — затратить, оценить.

К этим сокращениям можно приписывать окончания и приставки.

Для конспектов необходим дополнительный ссылочный каталог: вход систематический; на карточке источника его библиографическое описание, условное обозначение оценки полезности (и чем полезен), ссылка на конспект (номер тетради и страницу). Для обоснования актуальности вашей разработки могут оказаться полезными вырезки из газет. В них могут содержаться и ценные фактические данные. Адресные ссылки можно делать и непосредственно в личном систематическом каталоге.

На полезные книги можно составлять собственные аннотации или копировать издательские. Аннотация должна позволить читателю определить, стоит ли обращаться к полному тексту работы. Аннотация с элементами рецензии называется *резюме*. В нашем контексте резюме должно проецироваться на определенную проблему.

При проработке книг, принадлежащих лично соискателю, вместо конспектирования можно ограничиться подчеркиванием и заметками на полях, а на обложке или вложенном в книгу листке выписать номера страниц с краткой характеристикой интересных фрагментов.

При сборе материала к *главам* диссертации удобно пользоваться папкой с многими карманами и сменными ярлыками на них. Ярлыки помечаются в соответствии с содержанием главы, а по карманам раскладываются сделанные выписки, карточки и конспекты. При большом объеме материала можно завести вторую папку — для поочередного разбора материала глав на следующем уровне детальности. Электронным аналогом этой технологии могут служить дерево каталогов вашего компьютера. Текстовые редакторы, позволяющие видеть содержимое сразу двух файлов, заметно облегчают компилятивную деятельность.

Отработанный первоисточник помещается в папку, отведенную под соответствующую рубрику; имя папки заносится в электронную и физическую карточки. Эту папку надо не только пополнять, но и регулярно просматривать.

Черновые материалы для диссертации (текстовые фрагменты, программы вычислений, результаты счета, оцифрованные результаты экспериментов, графические файлы и т. д.) необходимо по мере их накопления переносить на жесткий диск компьютера. Структуру директорий нужно тщательно продумать, им и хранимым файлам предпочти-

тельно давать значимые названия. В каждой директории, в особенности включающей последовательные версии или варианты некоторой разработки, следует вести *файл-опись*, содержащий информацию об особенностях версий (вариантов). Опись должна иметь стандартное название или расширение (в зависимости от принципа сортировки файлов каталога), выбранное так, чтобы она размещалась вблизи начала каталога.

Результаты обработки источников полезно (для выполнения плана подготовки диссертации необходимо) время от времени обобщать в виде *реферата* — сокращенного изложения содержания совокупности первичных документов с основными фактами и выводами. Реферат не убеждает, но сообщает. Поэтому развернутая аргументация в нем не проводится.

3.4.8. Иностранные языки

Соискатель обязан получить результаты *мировой* новизны и потому не может ограничиться только отечественными источниками. Если исследователь с трудом изъясняется на родном ему языке, а в диссертации ссылается с ошибками в названиях на английские, французские и немецкие работы, оценка его эрудиции поменяет знак. Не может вызвать доверия книга по вычислительной математике, автор которой пишет фамилию классика Cauchy как «Koshi» (пример, увы, реальный!). Переводные монографии не бывают свежими (пока попадет в Россию, перевод, редактирование, издание, распространение — минимум 5 лет). К этому следует добавить время на публикацию первоисточника. Имеющиеся в библиотеках переводы *статей* обычно выполняются профессионалами в области перевода, но не существа предмета и не могут быть вполне адекватны оригиналам.

Поэтому изучайте иностранные языки. Требование знания 2—3 иностранных языков считается практически стандартным [49, 183, 191, 256]. Берите пример с классиков. Акад. В. И. Вернадский свободно владел французским, немецким, английским, польским, чешским, скандинавскими языками, языками балканских народов [46, с. 34]. Ф. Энгельс владел 20 языками [49, с. 43]. Кардинал Меццофанти (1774–1849 гг.) знал более ста языков. В 1961 г. в ГДР умер проф. Геестерман, знавший 132 языка [168]. Эти и им подобные полиглоты без труда осваивали по два–три языка в год, причем все с меньшей затратой сил. Разумеется, вопрос об *уровне знаний* остается открытым. В какой-то немецкой энциклопедии Я. И. Френкелю попалась статья об «Иване Грозном, прозванном за свою кровожадность Васильевичем» [53, с. 262].

Начиная изучение нового языка, пользуйтесь краткими грамматическими справочниками и *частотными* словарями. Известно [168, с. 105], что для художественных английских текстов 500 слов покрывают 70%, 1000 слов — 80%, 2000 — 86%, 3000 — 90%, 5000 — 93%, 10000 — 96%. Заучив 500 слов, начните проработку учебника или монографии по специальности. Одновременно составляйте словари математической и специальной лексики для перевода на русский язык (и их инверсии — для перевода на английский собственных трудов). Проявляйте бдительность по отношению к «ложным друзьям» переводчика: в [185] приведены неожиданные для молодого ученого варианты *actually* — фактически, *hardly* — с трудом, *instance* — случай, *nearly* — почти, *a number* — ряд, *object* — цель, *original* — первоначальный, *progressive* — постепенный, *specific* — удельный, *technique* — методика.

Не бойтесь незнакомых языков — если очень нужно, смысл формульного окружения улавливается. Не надейтесь на помощь студентов: *не умеющий целоваться — обслюнявит* (эфиопская пословица). Вы потеряете месяцы, а работу все равно придется сделать самому.

Не слишком полагайтесь на автоматический перевод. Большинство электронных переводчиков для заданного слова дает список вариантов перевода *без указания контекста*. Перевод целых фраз оказывается ниже всякой критики. Переводчик *Stylus*, примененный к `Help`'у системы *Visio* дипломником автора, выдал такие перлы, как:

- *Когда вы вращаете страницу, существующие формы и руководящие принципы (*`guidelines`*) вращаются вместе с ней.*

- *Чтобы понимать, что делает форму шикарной (сильной), это помогает знать, как формы оттянуты и запасены в Visio.*

- *Когда вы применяете цвет и тени, Visio использует цвет, который является самым близким состязанием (спичкой — match), доступным указанному цвету.*

3.5. Перевод на английский

Без большой натяжки можно предположить, что будущий ученый после сдачи кандидатского экзамена в состоянии справиться с переводом специальной литературы на русский язык — в особенности если учесть, что его будет интересовать *только смысл* оригинала. Гораздо более трудна

задача качественных переводов с русского на иностранный. Такая потребность возникает практически при любой публикации, где требуются аннотация и/или реферат на английском языке. Кроме того, в мире (и в России) проводится множество международных конференций, доклады на которых очень престижны и публикуются весьма оперативно, что крайне важно для зажатого жесткими временными рамками соискателя. Еще более широкие возможности открываются перед *докторантами*, квалификация и достижения которых могут позволить им публиковаться в зарубежных изданиях.

Тексты докладов и статей должны быть представлены на приемлемом по грамотности английском языке. Дополнительная трудность перевода с русского на английский для русского человека заключается в недостаточном знании английской грамматики: пассивное и активное владение ею — это «две большие разницы»! Серьезную проблему создают различия языков в *синтаксическом управлении*[4]. Кроме того, даже лучшие словари (в том числе электронные — система `Lingvo`) дают очень ограниченный набор контекстов, подсказывающих выбор *варианта* перевода. А таких вариантов может быть довольно много — см. приведенные ниже выдержки из [266]:

беспорядочный — chaotic, disorderly, confused, irregular, random;

бесценный — priceless, inestimable, invaluable;

вид — aspect, form, view, kind, species, shape, mode;

включать — enclose, include, insert, add, involve;

возможность — possibility, opportunity, chance, capability;

выбор — choice, selection, option, sampling, decision making;

главный — principal, essentual, main, major, key factor;

значение — value, meaning, sense, significance, valuation;

исключение — exclusion, exception, elimination, rejection;

исследование — investigation, research, analysis, discussion, tracing;

исходный — initial, original, primitive, input, parent, assumed, source;

конечный — final, finite, terminal, bounded;

[4]Управление — это подчинительная связь, которая выражается присоединением к главному слову существительного в форме косвенного падежа с предлогом или без.

область — domain, range, region, scope, topic, field, set;

обратный — inverse, converse, reverse, back, reciprocal, opposite;

общий — common, general, total, aggregate, global;

объем — volume, content, size, extent, extension, space;

ожидание — expectation, waiting time, delay, latency period, mean value;

опытный — experimental, empirical, practiced, sophisticated;

основание — base, basis, reason, foundation, ground;

переход — passage, transfer, transition, jump, conversion;

показательный — exponential, demonstrative, significant, representative;

полный — full, complete, total, perfect, whole;

поток — stream, flow, current, flux;

преобразование — transformation, transform, mapping, conversion, processing, transmutation, encoding;

проверка — test, testing, check, control, verification;

разложение — expansion, decomposition, factorization, resolution;

режим — condition, policy, duty, rate, behavior, regime, mode, environment;

ряд — series, row, line, sequence, set;

сокращение — reduction, cancellation, shortening, abbreviation, contraction;

схема — scheme, plan, diagram, circuit, network, pattern, block-design;

точный — precise, exact, explicit, correct, strict, close, proximate;

узел — knot, node, group, assembly, unit, component;

цель — object, purpose, goal, aim, target;

частный — partial, individual, particular, special, private, marginal.

Для примера проанализируем **возможность**: первый и четвертый варианты перевода подразумевают способность, второй — внешние обстоятельства, а третий — редкий счастливый случай (шанс). Вопросы точного словоупотребления в *русском* языке подробно обсуждаются в главе 5.

В практике перевода следует опираться на статьи из ведущих иностранных журналов, желательно от авторов с родным английским, а еще лучше — на книги по специальности (книги подвергаются более тщательному *литературному* редактированию). На первых порах можно заимствовать целые блоки фраз из надежных источников.

Существуют системы автоматизированного перевода, которые избавляют ученого, подзабывшего стандартную лексику и грамматику, от мучительного листания словарей и необходимости набора англоязычного текста «от печки» (русскоязычный текст предполагается готовым). Опыт применения автором систем *Promt* и *Socrat*, который здесь не обсуждается из-за недостатка места, приводит к вполне ожидаемому выводу: доводка продукта требует снабжения системы специальной лексикой и довольно основательного знания иностранного языка. Это в очередной раз подтверждает непопулярный тезис о том, что *реальной замены знанию нет* — и быть не может!

3.6. Семинары и конференции

3.6.1. Семинарское общение

Результат становится вкладом в науку только после его представления научной общественности в статье, на семинаре или конференции. Научные конференции — наилучшее средство для выдвижения новых ведущих исследователей и для проверки, а в некоторых случаях и переоценки так называемых *признанных авторитетов*.

Научные семинары — это обсуждение сравнительно небольшой группой участников подготовленных ими научных докладов. Они являются важным средством сплочения исследовательского коллектива и выработки у его членов общих подходов. Научные семинары могут быть как разовыми, так и постоянно действующими. Последние функционируют на базе сложившихся научных школ, обсуждают проблемные вопросы и проводятся под руководством крупного специалиста; обычно в них участвуют и представители внешних организаций. Классическим примером были знаменитые «капичники». На них выносились наиболее важные

и острые вопросы, подбирались и готовились оппоненты докладчика. Успешное выступление на подобном семинаре справедливо расценивается как апробация работы и для молодого ученого является нелегким испытанием.

Чаще, однако, проводятся разовые семинары в масштабах кафедры, под руководством ее заведующего и в целях обсуждения состояния дел соискателя. Такие семинары можно классифицировать на постановочные, текущие и итоговые. Задача соискателя на каждом из них — продемонстрировать не только свои успехи, но и обнаруженные трудности, причем акцент со временем должен смещаться с трудностей на успехи. Графический материал представляется в виде электронной презентации или на плакатах. Плакаты делаются в рабочем варианте — фломастерами на миллиметровке, для обеспечения дискуссии обязательно наличие грифельной доски. Докладчик должен обеспечить (для себя!) запись задаваемых вопросов, замечаний и предложений участников семинара.

Молодой ученый должен ясно осознавать *необходимость выступлений*: «Когда я был молод, я совал свое невежество всем в лицо. Меня били за это, и к сорока годам я отточил наконец оружие моих знаний. А если вы будете скрывать свое невежество, вас не будут бить, и вы никогда не поумнеете» (Р. Брэдбери, « 451° по Фаренгейту»).

Докладчик должен иметь в виду специфику устного общения. Прежде всего, оно полнее и нагляднее характеризует автора. Древние греки считали, что устное слово — это еще «самость» человека, а написанное слово — уже нет (пропадают внешность автора, интонации, мимика, жесты, настрой на конкретную аудиторию, привязка к ситуации и моменту). Фразы устной речи не могут быть столь же длинными и синтаксически сложными, как в письменной речи, — поскольку их нельзя перечитать или замедлить темп восприятия.

Выступления нужно тщательно продумывать и на первых порах готовить их полные тексты. Однако непосредственно при выступлении следует пользоваться лишь краткими тезисами. Излишне подробные тезисы, и в особенности полный текст, сковывают и докладчика, и аудиторию. Во всяком случае они исключают вдохновение и уменьшают свежесть и убедительность. Искусство говорить всегда содержит элементы импровизации.

Не нужно нервничать перед выступлением: аудитория простит случайные промахи и несущественные ошибки, если суть дела нова, интересна и излагается аргументированно. Старайтесь сразу же привлечь внимание нестандартной постановкой вопроса, кстати приведенным афо-

ризмом или эмоцией. Первые несколько фраз можно выучить наизусть: *начав* говорить, автор окажется в состоянии думать уже не о себе, а о теме выступления.

Избегайте как псевдоученых терминов, так и вульгаризации (опять «лезвие бритвы»!). В речи должны быть смысловые паузы, модуляции голоса, акценты. Следует четко и правильно выговаривать окончания слов. Правильность ударений предварительно проверьте по словарю. Цитату, даже если вы помните ее наизусть, лучше привести по карточке: это создаст благоприятное впечатление о культуре вашей работы и укрепит доверие к сказанному. Следите за израсходованным временем.

Выступающий должен установить контакт с аудиторией (лучше всего выделить в ней одно-два приятных или просто заинтересованных лица и неявно обращаться к ним); улавливать общее настроение; корректировать манеру и содержание выступления, если этого требует ситуация; парировать неожиданные вопросы.

На *постановочном* семинаре, проводимом примерно через три месяца после начала срока аспирантуры, обсуждаются направление и тема исследований. Соискатель должен сформулировать проблему, обосновать ее актуальность и наметить пути решения. Одновременно выясняются характер ожидаемых результатов и перспективы их внедрения. Для демонстрации всего этого достаточно 2–3 плакатов.

Текущие семинары по каждому соискателю проводятся как минимум ежегодно. На них выносятся очередная версия общего замысла работы (два плаката), краткая сводка ранее достигнутого (2–3) и результаты за отчетный период (3–4 плаката). Подробно докладываются последние: по каждой частной задаче — ее постановка, принятые ограничения, сделанные допущения, метод решения, полученный результат, его верификация, доказательство полезности.

Более масштабными научными форумами являются симпозиумы, конференции, конгрессы и съезды, различающиеся статусом, размахом и широтой программы. Для простоты будем называть конференциями их все. Самый привлекательный для соискателей ученых степеней аспект конференций — это публикация тезисов (реже — полных текстов) докладов практически без рецензирования, исключая самый высокий уровень. Кроме того, на *специализированной* конференции можно составить представление о перечне активно разрабатываемых проблем; получить советы по базисным источникам информации; завязать деловые контакты со специалистами на предмет дальнейшего сотрудничества,

отзывов и оппонирования; выпросить или выменять оттиски печатных работ и редкие ведомственные издания. Полезно, однако, сразу подумать, как обеспечить *взаимную* выгодность контакта.

Участие в масштабных многопрофильных конференциях (с докладом) более престижно. Именно на них должны «набирать очки» будущие доктора наук. Напомним, кстати, что к публикациям по докторским диссертациям приравниваются только материалы всероссийских (из прежних времен — всесоюзных) и международных конференций.

К сожалению, у некоторых потенциальных участников конференций, причем не только у молодых, имеется превратное представление об их целях и организации. Автор как член Программного комитета конференции по имитационному моделированию ИММОД-2009 оказался втянутым в переписку по поводу доклада с поверхностным обзором возможностей системы компьютерной математики MatLab. Претендент был искренне возмущен неучетом его интегральных заслуг и регалий («Я вам не рядовой аспирант и даже не рядовой доцент!»), аргументацией рецензента: «С каких это пор в тезисах конференций дается серьезный научный анализ?», и настаивал на своем праве «отражать собственное мнение на любой конференции». Но ведь его доклад с тематикой конференции даже *не пересекался*!

По опыту зарубежных конференций лучшие результаты, близкие к практике, — это коммерческая или государственная тайна. То, что везут представители фирм на крупные конференции, — реклама или дезинформация для конкурентов [245]. Отечественные конференции еще сохранили пережитки советского периода, и на них данный эффект выражен слабее. Поэтому активно участвуйте в работе семинаров и конференций — в пределах досягаемости. Планируя собственное выступление, определите для себя его цель из следующего списка:

- убедиться в актуальности и корректности постановки задачи;
- «застолбить приоритет»;
- поделиться радостью маленького открытия;
- предложить результат для реализации;
- «засветиться» перед коллегами;
- «отметиться» публикацией.

Имейте в виду возможность нежелательного поворота событий. Если есть только хорошая идея, но ничего конкретного, то вас могут опередить

в ее развитии; после неудачного выступления труднее рассчитывать на положительный отзыв и опубликовать статью.

Выступающий на конференции «по умолчанию» считает, что каждый слушатель знает о предмете обсуждения все — включая детали последней статьи докладчика. В действительности ситуация иная — и в тем большей степени, чем шире профиль конференции. Ограничивайтесь *идеей* доказательства.

3.6.2. Подготовка презентаций

Иллюстративный материал для доклада на конференции обычно должен быть «портативен». Как правило, он готовится в форме слайдов на так называемых «прозрачках» или в виде электронной презентации. Подготовка последней требует овладения соответствующей технологией. *Microsoft PowerPoint* позволяет создавать и показывать слайд-шоу, отображать заметки докладчика, подготавливать раздаточные материалы для слушателей — и все это в одном файле. Эта система чрезвычайно полезна и в учебном процессе.

Разработку презентации следует начать с выбора *шаблона*. Последний представляет собой профессионально оформленный слайд, объединяющий фоновый рисунок, цветовую схему и шрифты. Каждый слайд (кроме титульного с указанием наименования и разработчика презентации) включает его название. Существуют типовые макеты слайдов: свободный, с перечнями в один и два столбца, комбинирующие рисунок и текст справа или слева от него. Программа предлагает несколько десятков шаблонов, которые следует предварительно просмотреть. Для научно-технических сообщений предпочтителен *светлый* фон, на котором без дополнительной перекраски хорошо читаются формулы и графики. Каждый новый слайд заказывается нажатием [Ctrl+M]. Слайды можно переупорядочить через меню `Вид/Сортировщик слайдов`. Гарнитуру, начертание и размер шрифта можно корректировать так же, как при работе с Word'ом.

Рисунки следует вставлять из файлов векторных форматов — не будет проблем с их масштабированием. Непосредственные продукты *Visio* (`VSD`-файлы) вставке не подлежат. Вставка формул обеспечивается через меню `Вставка/Объект/Microsoft Equation`, текста в свободном формате — через `Вставка/Надпись`. Формулы и текст могут масштабироваться.

Ценным инструментом *Microsoft PowerPoint* является анимация: разновременное появление частей слайда, мерцание или вспыхивание отдельных элементов, их выплывание извне, звуковые эффекты.

Естественная ограниченность сферы научной деятельности диссертанта и преемственность получаемых результатов позволяют частично использовать ранее выполненные презентации при подготовке новых. Опишем этапы такого переноса.

1. В меню `Вид` выбираем `Сортировщик слайдов` и щелкаем мышью в позиции вставки.
2. Через меню `Вставка/Слайды из файлов` открываем вкладку обзора директорий.
3. Находим нужную презентацию и открываем ее.
4. Находим и выделяем копируемый слайд. [OK].

В результате содержимое скопированного слайда включается в новую презентацию на заданном для последней, т. е. новом, фоне. При этом блоки схем могут оказаться белыми, а черные соединительные линии не будут видны на темном фоне. Средствами *PowerPoint* можно перекрасить только фон и заливку. Поэтому целесообразно переработать рисунок через систему *Visio*. Здесь следует по [Ctrl+A] выделить все, а затем через меню `Правка` изменить цвета линий, текста и заливки стандартных блоков (цвета надо согласовать с цветовой схемой новой презентации). Интенсивность заливки можно менять, регулируя `Прозрачность`. Заливку текстовых блоков приходится делать дополнительно.

Для лучшего соотнесения текста доклада и слайдов полезно распечатать содержимое презентации — можно по несколько слайдов на листе. В подразделе меню `Печатать` следует выбрать `Выдачи`, задать число слайдов на странице и их размещение.

Недостатком слайдов и презентаций является невозможность одномоментного обозрения их *в совокупности*, что затрудняет восприятие и обсуждение доклада.

3.6.3. Поведение на семинаре

Перед выступлением материал несколько дней должен отлежаться: за это время вас обязательно посетят полезные мысли и соображения. В докладах и выступлениях будьте максимально конкретны. Соблюдайте «технику безопасности»: воздерживайтесь от легкомысленных

острот; нечетких суждений (это не относится к применению алгебры нечетких множеств); глобальных претензий на создание «концепций», «методологий» и «парадигм»; ссылок на личное знакомство с крупными специалистами; *оценочных* высказываний в чужой адрес (кроме как «по нужде» — при обсуждении диссертаций). Помните, что «о людях надо судить не по тому, чего они не знают, а по тому, что они знают и насколько глубоко» (Вовенарг, [67, с. 20]). Избегайте не мотивированных обстановкой демонстраций эрудиции, а также любых заявлений, которые могут оскорбить аудиторию (например, нелестная оценка уровня конференции). *Целью научной дискуссии должно быть установление истины, а не победа над оппонентом.* Слушая других выступающих, старайтесь внимать *не словам, но мыслям.*

Для научной дискуссии типично «дружески-враждебное» отношение коллег [67, с. 20]. Как правило, критики и оппоненты являются более опытными в науке и имеют знания, которых у молодого автора еще нет. Поэтому автор должен прислушаться к их мнению и правильно реагировать на существо замечаний — они все равно будут высказаны и другими. *Лучше учесть их сразу, задолго до защиты.* Не следует умалять достижения оппонентов и соперников, преувеличивать собственные заслуги, приписывать оппоненту плохие намерения. *Научные положения должны опровергаться только научными методами.* Априорно принято считать, что обнаруженная ошибка явилась следствием сложности проблемы и «добросовестного заблуждения».

В эпоху научных «взрывов» при оценке новых точек зрения следует проявлять разумную осторожность. Однако прямым долгом ученого является борьба со лженаукой. Характерными признаками последней акад. А. Мигдал считал отсутствие логической связи со всем развитием мировой науки, претензии на смену парадигмы, нарушение твердо установленных законов природы и элементарное невежество [235, с. 37].

Мир науки, как и мир искусства, не только прекрасен, но и жесток. В нем, помимо точек зрения, сталкиваются и материальные интересы конкретных людей. По этой причине дискуссия может оказаться завуалированной либо открытой борьбой за престиж или непосредственно за ресурсы, гранты и заказы. Процитируем по этому поводу старинного коллегу автора Г. Б. Петухова [171, с. 4]:

При плюрализме нет законов,
Нет установок, нет преграды.
Сказать точнее — нет законов,
Чему все прохиндеи рады.

Оружье их — не аргументы,
Не четкой мысли торжество,
А собственное большинство,
Его «ушей аплодисменты».

Акад. Л. И. Седов [218] с гордостью за нашу науку отмечает, что «критики в науке — донкихоты нашего времени» еще не перевелись, несмотря на наблюдавшиеся последствия: одних провалили на защите, других — в экспертном совете, третьим зарезали рукопись в издательстве, представления к ученым или почетным званиям, к премии.

К сожалению, встречаются люди, посещающие семинары только для самоутверждения и применяющие в этих целях любые средства. Укажем типичные приемы софиста и способы защиты от них:

1. Распространение тезиса докладчика за его естественные пределы с последующим опровергающим примером. Защита — точное определение пункта или предмета спора, ограничение объема понятия.

2. Многословие и нечеткость. — Потребовать уточнить вопрос.

3. Бездоказательное опровержение. — Потребовать аргументы.

4. Аргумент к личности: ссылка на авторитет (обычно не по делу или в другом контексте); личный выпад против оппонента.

5. Двойной стандарт в рассуждениях.

6. Вместо ответов по существу — обвинение критика в необъективности или в неделовых мотивах.

7. Подмена предмета спора.

8. «Палочный» довод — использование служебного положения, остатков личного авторитета, завуалированная угроза.

9. Психологическая диверсия (явное стремление вывести докладчика из равновесия).

Вступающий в науку (и нашедший в себе мужество ввязаться в дискуссию) должен быть соответственно вооружен. Универсальной стратегией защиты является разоблачение использованного приема (последние шесть пунктов приведеннного выше перечня) или встречное применение софистики того же рода. Выслушивая чужую критику, игнорируйте агрессивность тона и необоснованные нападки. Утешайтесь

тем, что на малозначимые идеи не нападают — их просто не замечают. Подводя для себя итоги обсуждения, имейте в виду, что в науке большинство голосов (исключая голосование в диссертационном совете) — не решающий аргумент[5], но прислушаться к нему следует. В связи с проблемой демократии уместно опять же процитировать Г. Б. Петухова [171, с. 58]:

> «Всеобщие выборы (куда бы то ни было) с равными весами голосов всех избирателей (участников НТС, НТК, Советов и т. п.) — весьма вредное для общества изобретение политических (как, впрочем, и научных) крючкотворов, заинтересованных не в качественном решении проблемы, а в протаскивании антинародных предприятий (мероприятий) через коридоры якобы народной якобы демократии».

В книге [61] проблема научной дискуссии рассматривается с общих позиций конфликтологии. К уже перечисленным приемам в ней добавляются способы ликвидации конфликта без разрушения отношений:

- Дайте оппоненту возможность «сохранить лицо».
- Сохраняйте собственное.
- Не бойтесь компромисса.
- Не уходите от извинений.
- Оформляйте достигнутую договоренность.

В дальнейшем старайтесь поддерживать контакты, установленные с коллегами из внешних организаций: можно ожидать притока новых идей и интересных результатов от других научных школ, договориться об отзывах и реализации результатов, обменяться малотиражной литературой. Дорожите общением с проявившими интерес к вашей работе *практиками*: беседы с ними могут открыть новые постановки подзадач; выявить дополнительные применения и ограничения; откорректировать целевую функцию; изменить приоритеты в решении частей проблемы. Такие знакомства — обязательное условие *реальной* пользы от вашей диссертации.

Помогайте младшим товарищам — это вам зачтется старшими (пусть даже на кармическом уровне). Не давайте, однако, обещаний,

[5]Это основная особенность демократии в науке.

выполнение которых зависит не только от вас (например, устроить кому-то отзыв с подписью вашего руководителя). Уклоняйтесь, по возможности в мягкой форме, от поддержки работ, к которым не лежит душа; в противном случае вы рискуете своей репутацией, о чем рано или поздно пожалеете. Если вам уж очень нужен данный контакт, помогите автору такой работы умным советом по ее существу.

3.6.4. Роль педагогического опыта

Педагогическая деятельность приучает ученого к четкой логике, жесткому отбору и *организации* материала, разумному балансу между строгостью и доступностью, теоретическими и прикладными аспектами работы. Многие крупные ученые (например, Д. Гильберт) отмечали, что для них лучшим способом освоить какой-то новый раздел знания было его преподавание. По мнению П. Л. Капицы [96, с. 202], «хороший ученый, когда преподает, всегда учится сам. Во-первых, он проверяет свои знания, потому что, только ясно объяснив другому человеку, можешь быть уверен, что сам понимаешь вопрос. Во- вторых, когда ищешь форму ясного описания того или иного вопроса, часто приходят новые идеи. В-третьих, те, часто нелепые, вопросы, которые задают студенты после лекций, исключительно стимулируют мысль и заставляют с совершенно новой точки зрения взглянуть на то явление, к которому подходим всегда стандартно, и это тоже помогает творчески мыслить». Вспомним, что Лобачевский пришел к необязательности пятого постулата Эвклида, пытаясь объяснить его необходимость готовящимся к экзамену престарелым чиновникам. Менделеев открыл свою систему, стараясь упорядочить излагаемые студентам свойства элементов. Шредингер нашел свое знаменитое уравнение в процессе объяснения работы де Бройля группе аспирантов Цюрихского университета [96, с. 198].

Педагог даже с небольшим стажем легче выдерживает намеченный план изложения, намного увереннее общается с аудиторией, не теряется при неожиданных вопросах; в процессе защиты диссертации при прочих равных условиях он смотрится намного лучше, чем чистый «научник». Обучая молодежь, мы выплачиваем свой долг перед нашими учителями. Поэтому старайтесь сочетать научную работу с педагогической. Не следует, однако, немедленно включать в читаемые курсы собственные разработки в объеме, не оправданном задачами, логикой и уровнем дисциплины учебного плана. Этот совет особенно актуален для молодых докторов наук.

3.7. Интернет

В процессе исследований ученому необходима постоянная оперативная информация о работах, ведущихся по данной проблеме другими специалистами. Он также не может не информировать своих коллег о достигнутых результатах, чтобы иметь возможность правильно оценить их и наметить дальнейшее продолжение научного поиска. «В истории философии и науки, особенно в эпоху Возрождения и в начале нового времени, когда латинский язык был ученым языком вне стран и национальностей, реальный, но неоформленный интернационал ученых сыграл огромную роль. Традиции интернационала ученых имеют, таким образом, глубокие корни, сознание его необходимости проникает все глубже; это течение идет в унисон с созданием ноосферы как цели», — писал В. И. Вернадский более полувека назад [41, с. 36]. На рубеже XVIII в. число корреспондентов Лейбница достигало 200 [57, с. 199].

Глобальная сеть Интернет — одно из самых радикальных технологических новшеств в истории человечества. Заложенные в ее архитектуру принципы оказались настолько плодотворными, что сеть обрела способность к самоорганизации и продолжает жить как живой организм. «Качественная специфика мозга человека, рождение интеллекта объясняются не совершенством отдельных нейронов, а их количеством и организацией... Связи между *людьми*, обмен информацией между "локальными интеллектами" приводят к некоторому коллективному процессу мышления, к необычайному ускорению познания» [150, с. 200–201].

Интернет — это единство инфраструктуры (компьютеров, локальных, региональных и специализированных сетей, магистральных каналов связи), информационных ресурсов и сервисных средств, а также людей, которые общаются через сеть с информационными ресурсами Интернета и между собой. Как отмечается в предисловии к [45], техносфера стала реальностью, хотя ноосфера как царство *разума* пока остается мечтой.

Все компьютеры, подключенные к Интернету, делятся на оконечные (пользовательские) и серверы (служебные). Серверы поддерживают нормальное функционирование сети, обеспечивая размещение и поиск информации, адресацию и маршрутизацию сообщений, их передачу, разграничение доступа и т. п. Взаимодействие компьютеров сети между собой осуществляется по некоторым стандартизованным правилам — протоколам (в понятие протокола иногда включаются и реализующие его технические средства). Пользователи работают с *доме́нными* адресами, отражающими иерархическую структуру сети: это последовательность

имен на пути от сервера нижнего уровня (хост-компьютера) до корневого узла[6], разделенная точками (при работе с электронной почтой самое левое имя идентифицирует оконечный компьютер и отделяется от остальной цепочки «собакой» — знаком @). Доменные адреса первого уровня образуются либо по географическому принципу (de — Германия, fr — Франция, ru — Россия, uk — Великобритания, us — США), либо по типу организации (com — коммерческая, gov — правительственная, edu — образовательная, mil — военная) независимо от страны. Несколько примеров адресов:

```
http://web.mit.edu            - Массачусетский технолог. ин-т,
http://www.w3.org/vl          - WWW Virtual Library,
http://www.yahoo.com          - поисковый сервер Yahoo,
http://pointcom.com           - поисковый сервер Point,
http://altavista.digital.com - поисковый сервер Alta-Vista,
http://www.infoseek.com       - поисковый сервер Infoseek,
http://www.whitehouse.gov     - Белый дом (Президент США).
```

Поиск файлов производится, в частности, обращением к географически ближайшему серверу. При этом нужно знать возможно более точное имя файла.

Представление о видах информации в Интернете можно получить по соответствующим «Желтым страницам», которые аналогичны телефонным справочникам и имеются как в виде книг, так и в электронной форме, а также на компакт-дисках. Последний вариант позволяет выполнить предварительный поиск *без подключения к сети*, т. е. самым экономичным способом.

В контексте этой книги наиболее интересны сведения:

- об университетах и других высших учебных заведениях (структура, условия приема, программы, сотрудники, библиотеки);
- о странах, регионах и городах;
- об издательствах;
- об электронных журналах и электронных изданиях ведущих научных журналов мира, которые часто появляются ранее печатных.

Поиск начинается щелчком по соответствующему значку стартового меню. Если сетевой адрес документа известен, он непосредственно

[6]В Великобритании применяется обратная последовательность.

задается в окне. К нужной информации может вести множество альтернативных путей, обычно реализуемых просмотром иерархической системы меню. Очень популярны цепочки гипертекстовых ссылок. Наконец, можно организовать поиск по *ключевым словам*. Такой поиск требует определенного опыта и тщательности: всегда имеется противоречие между точностью поиска (будет найдено именно то, что нужно) и его полнотой. Чем больше указано ключевых слов, тем у́же область поиска (она может даже оказаться пустой). Тогда нужно постепенно расширять область, удаляя наименее существенные признаки.

Дополнительные затруднения могут возникнуть при задании английских ключевых слов. Такие слова нужно выписать из англоязычной литературы по вашей специальности (обычно они указываются в аннотациях на статьи и книги).

Доменный адрес отображается на экране в строке статуса. Запоминание часто используемых адресов обеспечивается записью их в папку «Избранное» (`Favorits`). В качестве префикса к адресу указывается (через двоеточие) вид требуемой услуги: `telnet` — работа на удаленном компьютере, `ftp` — передача файла, `http` — передача гипертекстовой информации. При запросе файла указывается его полное имя (с путем). В файлах может содержаться текстовая или графическая информация, а также программы бесплатного или условно-бесплатного (`shareware`) пользования. Многие фирмы бесплатно предоставляют для тестирования новейшие версии своих программных продуктов.

В ряде случаев сеть может потребовать подтвердить право на доступ с помощью пароля или представиться (анонимом, адресом электронной почты). Передаваемые файлы, как правило, заархивированы; для распаковки рекомендуется применять *WinZip*.

Электронная почта (e-mail) — самый популярный вид услуг Интернета. На компьютерах сети для абонентов заводятся *именные* почтовые ящики. Работа с электронной почтой облегчается дополнительно включенной в *Microsoft Office* компонентой *Outlook Express*.

Имеется возможность запросить по почте файл, адресовать сообщение (статью, журнал) именованной *группе* адресатов. В этом случае сервер автоматически выполняет рассылку по списку. В список рассылки можно включиться так же, как подписываются на обычное издание.

Телеконференции организуются системой *Usenet*. Они служат для общения пользователей по некоторой тематике. Можно читать все, что туда поступает, посылать свою информацию или вопросы по теме конференции. Число существующих телеконференций приближает-

ся к 10 тысячам. У некоторых телеконференций имеется председатель — «модератор», который фильтрует поступающую информацию и периодически обобщает ее к сведению участников. Верхний уровень иерархии телеконференций образован семью категориями, из которых нам интересны `comp` (все о компьютерах) и `sci` — наука. Существуют телеконференции на русском языке (`relcom.*`).

Бесплатный софт считается самым заманчивым ресурсом Интернета, но ожидания оправдывает редко.

Поставщики связных и информационных услуг («провайдеры») распределяют свои затраты между пользователями — например, в виде ежемесячной или повременной оплаты либо в зависимости от объема переданных файлов. В крупных вузах и библиотеках имеются отделы, предоставляющие студентам и преподавателям (абонентам) связь с Интернетом бесплатно или за умеренную плату, но с некоторыми дополнительными ограничениями (например, во избежание проникновения в сеть компьютерных вирусов запрещается работа с личными носителями информации). Плата взимается за копирование или распечатку файлов, за персональный почтовый ящик `e-mail` и за отправку каждого письма.

Теоретически все вышеописанное выглядит великолепно. Приступив к практическому ознакомлению с Интернетом из сети Санкт-Петербургского Института информатики РАН, автор вышел на ГПНТБ, ознакомился с Федеральной программой электронных библиотек в России и убедился, что она только начинает выполняться. Выяснилось, что Россия приглашена в аналогичный проект Большой восьмерки. Удалось войти в Российский сводный каталог по научно-технической литературе — предложено на выбор указать ключевые слова или тематику (из списка), но дальше «Математики» детализация не пошла. По запросу о «массовом обслуживании» были выданы библиографические описания 15 книг с кодированным указанием библиотек, где они имеются. Просмотреть оглавления и тем более тексты книг не удалось: в электронной форме такая информация отсутствует.

Не намного лучшие результаты дает поиск в глобальном масштабе. В Библиотеке РАН, к примеру, только издательства Elsevier и Springer предоставляют читателям полнотекстовый доступ к электронным версиям журналов (208 наименований, формат PDF), но лишь за последние годы (интересовавший автора журнал *European Journal of Operational*

Research — только с 1998 г.). Можно также ознакомиться с *содержанием* журналов, выпускаемых издательством Cambridge University Press.

Нужная автору статья была в конце концов разыскана в Библиотеке естественных наук. На «электронную доставку» потребовалось около месяца. Статья объемом в 20 страниц была представлена в виде 11 файлов (отсканированные начальная страница и 10 разворотов в формате `TIF`, упакованные архиватором `WinZip`), и заняла две дискеты. Для получения качественной распечатки пришлось после распаковки разрезать развороты и каждую половинку поворачивать на 90°.

Две вышеупомянутых организации и имеющие аналогичный статус по понятным причинам находятся в привилегированном положении, подключены к мощным каналам связи и обеспечивают приемлемую оперативность работы. Кроме того, они имеют *договоры* с возможными поставщиками информации. Положение «частника» значительно хуже и сильно зависит от выбранного провайдера (точнее, от пропускной способности его канала и загрузки этого канала). Вопрос о получении *текстов* статей придется решать применительно к каждому конкретному случаю.

Понятие сети, паутины (net) — очень точное в смысловом отношении метафорическое представление технократического способа объединения людей планеты. Характерен асоциативный ряд, выстраивающийся за этим словом: сеть раскидывают, в нее ловят и попадаются, она обволакивает и т. д. (И. А. Колесникова, [46, с. 349]). Весь Интернет, по крайней мере в настоящее время, откровенно проникнут духом рекламы, торгашества и просто паскудства. Пытаясь ознакомиться с новыми образовательными стандартами, автор вышел на сайт Министерства образования и науки РФ и получил... предложение сексуальных услуг. В подавляющем большинстве случаев можно узнать только о *существовании* новых работ в интересующей вас области и библиотеках, где они имеются.

Если библиотека подписана на соответствующие ресурсы, можно ознакомиться с текстами статей (часто — с блокировкой копирования выпусков последнего года), оглавлениями книг и пробными их фрагментами. При попытке получения *текста*, как правило, предлагается заказать книгу по `e-mail`. Ведутся разговоры о создании отдельной сети для научной работы, с чего, собственно, и начинался Интернет. Пока же реальную пользу дает только `e-mail` при общении с заинтересованными корреспондентами. Начинающему свою жизнь в науке придется перелопачивать информацию «классическими» способами.

Этот раздел мы закончим цитатой из книги [183, с. 42]: «Сегодня кажется мечтой, а он недалек, тот день, когда исследователю будут реже требоваться книги, журналы и другие печатные издания и документы; когда достаточно будет сделать запрос по видеотелефону в библиотеку и у себя дома на экране читать нужную статью или даже целую книгу». Эта мечта еще не скоро станет явью.

3.8. Тема и цели диссертации

Между широтой проблемы и глубиной ее проработки нужно соблюдать разумный баланс (с учетом индивидуальности соискателя и других особенностей ситуации). Следует, однако, избегать крайностей. Обычная ошибка — слишком широкая тема (не прожевать): «Автор скользит по поверхности, приводит самоочевидные тезисы и общие места, и в груде рыхлого материала тонут даже те ценные отдельные мысли, которые, может быть, содержатся в работе» [256, с. 10]. Часто исследователи, сосредоточивая усилия на узком фронте, добиваются результатов, имеющих большое теоретическое и практическое значение, чего не скажешь о поверхностно разработанных темах широкого профиля. И вообще «в науке нет небольших, ограниченных областей — есть только небольшие, ограниченные ученые» [220, с. 323]. Кроме того, свойство, общее для слишком многих объектов, вряд ли может быть очень интересным. По Уайтхеду, «плодотворная концепция заключается в широком обобщении, ограниченном удачной конкретизацией» [248, с. 69]. С другой стороны, узкий специалист не видит общую перспективу, и кандидатская диссертация, выполненная по слишком частному вопросу, редко перерастает в докторскую.

Совместный анализ проблемы, цели, литературных источников по выбранному направлению позволяет представить проблему деревом подзадач — см. рис. 3.1. Ветви последнего логически соединяются по схеме И (ИЛИ) в зависимости от того, что необходимо для достижения очередной цели: все ее подцели либо хотя бы одна. Поиск методом редукции к подзадачам сводится к построению решающего графа Здесь дугами помечены все И-дробления. Конечные подцели, образующие один из достаточных наборов, зачернены.

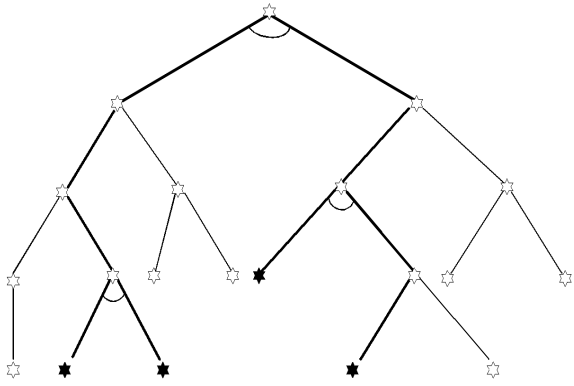

Рис. 3.1. Решающий граф

Далее нужно определить очередность выбора и оценить решаемость подзадач. Поиск «в глубину», состоящий в последовательном разбиении проблемы на подзадачи до легко решаемых, малоэффективен из-за необходимости тщательно анализировать большое число тупиковых направлений. Поиск «в ширину» предусматривает первоочередной обход вершин на каждом из уровней. Сочетание этих видов поиска часто сравнивают со стрельбой из дробового ружья: рассеивание должно быть оптимальным! Необходимо как можно раньше сузить множество альтернатив:

> «Большая дорога с множеством развилин ведет к гибели баранов. Ученые гибнут из-за бесконечности направлений» (Ян Чжу).

По результатам анализа достижимости вершин с помощью руководителя выбирается *способ* достижения цели. Это может быть:

- использование новых физических принципов;
- применение новых комбинаций известных элементов и принципов;
- изменение принципа управления (например, переход к нелинейному, терминальному или робастному управлению);
- новый метод расчета, свободный от прежних ограничений;
- новая технология (в химической промышленности, производстве интегральных микросхем или программной продукции);
- новая *организация* использования объекта по назначению, и т. д.

Принципиальное требование к выбранному способу — *интенсивность*: решение по принципу «грубой силы» простым увеличением числа элементов (например, процессоров вычислительной системы), энергообеспеченности, веса ударного элемента, толщины стенок и др. не может считаться вкладом в технический прогресс и не будет признано имеющим существенную новизну (исключая случай *скачкоообразного* полезного изменения свойств объекта, классическим примером которого является сталь Гадфильда с высоким содержанием марганца).

Соединение проблемы, объекта, цели исследования и пути ее достижения позволяют, наконец, сформулировать *тему* диссертации. Она должна быть конкретной, не слишком претенциозной — «производство "Основ" не может быть поточным» [102], не смешивать предмет исследования и наукоговорение о нем — «Исследование проблемы», «Изучение аспектов», «Теория и практика», «Анализ» имеют место в любой работе и не могут служить ее отличительными признаками. Недопустимо включение в название оборотов речи, нагнетающих неопределенность: «Некоторые вопросы», «К вопросу о...», «Исследование процесса...», «Генезис проблемы...». Это все — *пути, но не цель* и тем более *не результаты*.

Тема работы должна быть *соразмерна* ее содержанию: не шире и не у́же. Слишком широкое название претендует на нерешенные проблемы, узкое не охватывает всех результатов. По опыту она должна укладываться в 12–15 слов, исключая союзы и предлоги. Изобилие «и» свидетельствует о сырости работы. Как правило, сужение содержания требует удлинения названия, и наоборот. Поскольку, согласно Положению, диссертация должна быть *законченным* исследованием, в ее названии нежелательны такие слова, как «Разработка» и «Совершенствование», указывающие на *процесс* работы, но должен отражаться ожидаемый *результат*. Наконец, она должна быть отшлифованной стилистически (неприемлемы длинные цепочки родительных падежей). Перечисленные требования в основном выполнены, например, в следующей формулировке: *Повышение автономности космических аппаратов с помощью нейросетевых средств управления* (слово «Повышение» может относиться не только к процессу, но и к результату).

Соискатель должен доказать актуальность работы обоснованием возможного положительного эффекта не только для направления, но и для *темы*.

Тема утверждается в течение первых трех месяцев пребывания соискателя в аспирантуре (докторантуре) на ученых советах факуль-

тета и вуза соответственно. Для соискателя-заочника важно, чтобы тема входила в план НИР организации, где работает диссертант, и была приемлема для вуза, куда поступил заочник.

Выбор темы — это договор между соискателем и руководителем, который должен быть выгоден обеим сторонам и *обязывает их обе*. Это еще один аргумент в пользу неизменности темы. Соискатель, сменивший тему под действием внешних влияний, не только автоматически затягивает срок работы; он обманывает возложенные на него коллективом надежды и обнуляет труд, затраченный руководителем.

Окончательный вариант названия может быть выбран только после получения основных результатов работы и должен отражать эти результаты.

3.9. Планирование работы над диссертацией

План работы над диссертацией составляется на основе оставшегося после анализа поддерева задач. К нему присоединяются стандартные блоки из типового плана (подготовка к кандидатским экзаменам, педагогика, спецглавы математики, системный анализ и т. п., педагогическая практика и неизбежные мероприятия третьего года обучения). Этот план не надо путать с планом самой диссертации. План не сковывает действия аспиранта, но направляет их и помогает расставлять динамические приоритеты.

В отделе аспирантуры вуза обычно имеется типовой план работы над диссертацией. Приведем практически «несжимаемый» календарь событий последнего года аспирантуры, срок которой заканчивается 1 декабря. Он составлен методом обратного отсчета от срока окончания аспирантуры с учетом минимальных временных интервалов между узловыми событиями, предусмотренных Положением ВАК о порядке присуждения ученых степеней и званий:

- защита — ноябрь;
- рассылка рефератов и диссертации — сентябрь;
- представление диссертации в совет — начало июля (до ухода членов совета в отпуска);
- итоговый семинар — май;
- конец оформления диссертации — апрель.

Поскольку оформление работы, ее просмотр руководителем и дополнительная правка займут не менее четырех месяцев, это означает, что *основные результаты должны быть получены к концу второго года аспирантуры*. Резервами соискателя являются кандидатские экзамены. Их все или по крайней мере философию и иностранный язык желательно сдать до поступления в аспирантуру, а кандидатский по специальности — вместо вступительного, что одновременно повысит конкурсные шансы. Период выбора темы надо свести к минимуму. Затягивание работы над диссертацией гарантирует неприятности не только по административной линии: возрастает риск потери приоритета. Вам могут «потоптать лужайку» — как известно, хорошие идеи «носятся в воздухе», и придется все начинать сначала. Такие истории бывали многократно — достаточно вспомнить историю телефона, второй изобретатель которого Э. Грей подал заявку *на час позже первого* (Г. Белла).

План работы, помимо текстового, полезно иметь еще в двух формах: сетевой и линейной. Узлами сетевого графика являются события, а дугами — необходимые работы. *Событие* означает возможность начала новых работ или завершение проекта; оно наступает при выполнении всех работ, соответствующих входящим стрелкам. Примеры сетевых графиков приводятся в [241, с. 128–131]. Линейная диаграмма (график Ганта [62]) полезна для большей наглядности временны́х аспектов при возможном распараллеливании работ (типично для докторских диссертаций).

Практика показывает, что в ходе работы над диссертацией ее содержание и, следовательно, формулировка темы претерпевают значительные изменения. Каждое такое изменение ведет к пересмотру списка и сроков решения подзадач и требует соответствующей коррекции плана. Нужно чувствовать ход времени, регулярно пересматривать приоритеты и объемы работ. Ненормальным считается лишь радикальный поворот — полная смена темы, для чего должны быть очень веские причины. Окончательный вариант темы определяется примерно за полгода до защиты и должен правильно и полно отражать содержание итоговой версии диссертации.

Объем работы над диссертацией очень велик. Кроме того, соискатель должен сдать кандидатские экзамены и пройти некоторые дополнительные виды подготовки к работе над диссертацией и последующей профессиональной научной или педагогической деятельности (в частности, курс педагогики высшей школы и педагогический практикум). В случае непрофильного образования приходится сдавать

дополнительную «широкую» дисциплину. Дальнейшее продвижение соискателя по службе обычно жестко связывается со своевременной защитой или по крайней мере с представлением диссертации в совет. Это требует полной самоотдачи соискателя (его рабочий день должен продолжаться 10–14 часов), максимальной организованности и хорошего здоровья, которое надо поддерживать регулярными занятиями физкультурой. Абсолютно необходима достаточно интенсивная физзарядка (по акад. Н. М. Амосову — 1000 движений за 25–40 мин. [168, с. 150]). Специальное внимание следует уделять улучшению кровоснабжения мозга. Речь идет о так называемой свече (стойке на лопатках) или стойке на голове. Дж. Неру в своей автобиографии писал, что ежедневное стояние на голове в течение всего нескольких минут помогало ему долгие годы сохранять высокую работоспособность [168, с. 120].

Серьезные занятия *спортом* аспиранту (исключая спортивные вузы, а также *активный* туризм в летние месяцы) безусловно противопоказаны из-за недопустимых временны́х затрат и вредного действия запредельных физических нагрузок. «Опровергающие» данный тезис примеры на самом деле свидетельствуют лишь о том, что немногим очень талантливым людям даже спорт — не помеха. Л. А. Сенека писал [221]: «Много неприятного ждет тех, кто рьяно заботится о теле: во-первых, утомительные упражнения истощают ум и делают его неспособным к вниманию и к занятиям предметами более тонкими; во-вторых, обильная пища лишает его изощренности... День прошел для них на славу, если они хорошенько вспотели и на место потерянной влаги влили в пустую утробу новое питье, еще в большем количестве».

Хочется подчеркнуть особую пользу *горного* туризма, одновременно дающего эмоциональную разрядку, снимающего гиподинамию и возвышающего личность в прямом и переносном смысле слова. На природе человек ощущает себя частью биосферы, в продолжительном отрыве от городской цивилизации возвращающей ему здоровое мироощущение. Величие и спокойствие гор гасят все мелкие заботы и неурядицы и отодвигают крупные. К сожалению, в связи с распадом СССР некогда блестящие в этом смысле возможности из-за новых границ, угрозы терроризма и похищения людей практически сведены к нулю.

Некоторые молодые дамы пытаются совместить написание диссертации с рождением ребенка. Автор лично знаком с двумя примерами успешного совмещения (одна из этих дам позже стала доктором физико-математических наук и автором трехсот статей). Однако в типичном случае приходится утешаться горькой шуткой: «Женщина всегда может родить дочь и назвать ее ... Диссертацией».

ВАК требует по докторской диссертации минимум семи публикаций в ведущих *рецензируемых* научных журналах и изданиях за два месяца (по кандидатской — за месяц) до приема к защите, причем кафедра и оппоненты в своих отзывах *обязаны* этот факт подтвердить. По крайней мере одна такая публикация должна быть и по кандидатской работе. Перечень «зачетных» журналов и изданий ежегодно публикуется в Бюллетене ВАК. Журналы, достойные публикации докторских результатов, в упомянутом Бюллетене отмечены звездочками. В первом номере Бюллетеня за 2009 г. перечислены требования к таковым: обязательное рецензирование статей, мотивировка отказов, бесплатная публикация аспирантских работ, информационная открытость, строгая периодичность и др.

К опубликованным изданиям приравниваются:

- дипломы на открытия;
- патенты на промышленный образец;
- авторские свидетельства и патенты на изобретения;
- свидетельства на полезную модель;
- топологии интегральных микросхем, зарегистрированные в установленном порядке;
- программы, которые включены в Государственный фонд алгоритмов и программ и по которым проведена соответствующая экспертиза на новизну;
- депонированные в учреждениях государственной системы научно-технической информации рукописи работ, аннотированные в научных журналах;
- препринты;
- опубликованные тезисы докладов, сделанных на всесоюзных, всероссийских и международных съездах, конференциях и симпозиумах;
- информационные карты на новые материалы, включенные в государственный банк данных;
- публикации в электронных изданиях, зарегистрированных в Информационном регистре (по согласованию с ВАК).

Для выхода в свет журнальной статьи начинающего автора требуются 1.5–2 года, на получение авторского свидетельства — 1–1.5 года, на публикацию включенного в план ведомственного учебного пособия — полгода-год (с оригинала автора), на депонирование статьи — несколько месяцев. Наиболее оперативны отчеты о НИР и тезисы докладов на конференциях. Соответственно, соискатель должен быть постоянно «заряжен на публикации», отслеживать ближайшие возможности и не упускать их. Обратим, однако, внимание на следующие «контртезисы»:

- Материалы публикаций и самой диссертации должны быть новыми. Не верьте популярной фразе о том, что «один источник заимствования — плагиат, два — компиляция, три — диссертация». Боритесь с подсознательной тенденцией считать все, что вы только что узнали, новым *и для других*. Помните, что при использовании чужих материалов без ссылок на автора и источник диссертация снимается с рассмотрения *без права повторной защиты*.

- Представляемый к публикации материал не должен быть слишком общим (концептуальные соображения уместны только в большой работе, где предполагается их развитие и конкретизация). Вряд ли вызовет интерес доклад «*Стратегия подхода к решению проблемы алгоритмизации процессов принятия решений по обеспечению заданного функционирования сложных технических систем*» — уже из его названия ясно, что до решения проблемы очень далеко. Кроме того, обзорные публикации принимаются только от известных ученых. С другой стороны, он не должен быть слишком частным.

- Не публикуйте непроверенный материал. Обнаружившиеся ошибки «не вырубишь топором», они могут отрицательно сказаться на исходе защиты. Вы будете стыдиться этих работ всю оставшуюся жизнь.

После защиты прекратите погоню за *числом* публикаций[7] и сделайте акцент на их научную значимость и авторитетность изданий. Имейте в виду, что крупнейший советский физик лауреат Нобелевской премии П. Л. Капица за 60 лет опубликовал всего 78 научных работ, основатель ГОИ акад. Д. С. Рождественский — 15, президент Академии наук СССР и ведущий теоретик авиации и космонавтики М. В. Келдыш — 50, легендарная С. В. Ковалевская — 10, А. Эйнштейн — 11. Впрочем, можно

[7]Если вы работаете в учреждении РАН, это сделать не удастся: придется копить очки для «показателя результативности научной деятельности».

равняться и на Л. Эйлера, написавшего 886 трудов. В частности, в год своего семидесятилетия (1777-й) вместе со своим секретарем он подготовил около 100 статей [263, с. 15]. Разумеется, при этом он пользовался и прежними заготовками.

Рецензируемые публикации и выступления на научно-технических и методических семинарах являются актами *апробации* — признания обществом правильности и полезности результатов. На последнем году аспирантуры соискатель должен выступить с докладами по работе в целом или ее частям во внедряющих организациях, на передовом предприятии и у внешнего оппонента. Все элементы апробации должны быть отражены в тексте диссертации и других документах — см. Положение. Соответствующие мероприятия должны включаться в план работы над диссертацией начиная со второго года.

Соискатель должен, наконец, спланировать и осуществить *реализацию* (внедрение) своих результатов. Реализовать можно модели, методы, алгоритмы и программы, технологии, элементы и схемы устройств и систем, оптимальные режимы и настройки, рекомендуемые организационные структуры и процессы, способы боевого применения военно-технических систем. Возможны следующие направления реализации:

- в заданиях на проведение новых НИОКР или фундаментальных НИР и в технических заданиях на создание новых средств;
- в технических стандартах;
- в документации и методиках исследований, испытаний, эксплуатации и боевого применения;
- на учениях, исследовательских и командно-штабных играх;
- в лекциях, учебниках и учебных пособиях.

Реализация должна быть подтверждена документально и *максимально конкретно*: что, где, когда, номер приказа руководителя учреждения. Крайне желательно указание достигнутого количественного выигрыша в точности, надежности, быстродействии, пропускной способности, энергосбережении и т. п. — в относительном или абсолютном исчислении. Указание на *успех* реализации (но не сам факт ее!) одновременно может рассматриваться как подтверждение достоверности результатов и их апробация.

Напомним, что *за содержание диссертации и своевременное ее представление всю ответственность несет соискатель*.

3.10. Типовой план диссертации

Текст диссертации включает в себя следующие компоненты:

- Титульный лист.
- Оглавление.
- Введение.
- Главы (разделы) основной части.
- Заключение.
- Список литературы.
- Приложения.

Структура основной части работы определяется логической необходимостью разделов, а объем каждого из них — потребностью в ссылках на их содержание и творческим вкладом автора. Особое внимание следует уделять разделам, где предполагается заметный личный вклад.

Оглавление может быть сделано на разных уровнях (обычно — до третьего включительно). Его проект следует составить как можно раньше и по мере продвижения работы перманентно корректировать. На этапе сборки рукописи желательно пользоваться системой, автоматически формирующей оглавление (например, LaTeX'ом). При этом можно выявить ошибки типа единственного подпункта в пункте, разностильности однородных заголовков, повторов, провалов, нарушений логики относительного расположения материала, неравномерности членения (смешения разных иерархических уровней). Выверив структуру работы, можно снять часть заголовков нижнего уровня или оформить их как встроенные в текст (со шрифтовым выделением).

Проблемы рубрикации работы и формирования оглавления средствами Microsoft Word обсуждаются в [187, с. 14–15].

Глава 4

Выполнение работы

4.1. Принципы научной разработки

Основной стимул развития науки — *практические потребности*. Это убедительно подтверждается на примере даже теоретической математики. Математический анализ возник как аппарат изучения механического движения, теория функций комплексной переменной — процессов гидродинамики. Прикладными задачами стимулировалось развитие теории автоматического управления, случайных процессов, линейного и выпуклого программирования.

Важную роль в развитии любой науки играют также *внутренние стимулы*. Наиболее распространены обобщение ранее полученных результатов, поиск или уточнение границ действия установленных закономерностей. Весьма плодотворна «работа над ошибками». Акад. В. И. Арнольд пишет: «Ошибки играют в математике не меньшую роль, чем доказательства: анализируя их причины и пути преодоления, можно быстрее идти вперед, чем тупо пытаясь продвинуться в малоизученном направлении» [12, с. 46].

Работа над *докторской* диссертацией ведется или по крайней мере начинается индуктивным методом: соискатель пытается найти *общее* в способах вывода ранее найденных им результатов. При этом часть результатов, возможно, придется отбросить. Далее оставшиеся выводятся с более общих позиций, получается ряд новых, намечаются аналогии и дальнейшие обобщения. Как правило, обобщение нуждается в создании нового метода исследования. Опять же сошлемся на математику: теорема Пифагора неоднократно служила отправным пунктом для обоснованных обобщений (многомерное эвклидово пространство, метри-

ческие пространства вообще, тензорная геометрия). С другой стороны, надо помнить о предостережении Дж. фон Неймана [74, с. 13]: на большом расстоянии от эмпирического источника или в результате чересчур абстрактного «инбридинга» математической дисциплине грозит вырождение.

Наиболее мощный внутренний стимул — построение *теории*: выдвижение и развитие обобщающей идеи, которая позволила бы объединить в систему ранее разрозненные результаты, упорядочить их, найти ранее не замечавшиеся связи и тем открыть дорогу неожиданным новым теоремам, методам, типам технических устройств, точкам зрения (в связи с этим напомним обсуждавшуюся в главе 1 аналогию Н. Бурбаки между процессами развития науки и большого города). Для этого как рассматриваемая наука, так и соискатель должны *созреть*. Построение таких теорий неизбежно требует большей абстрактности изложения, высокой математической и специальной подготовки и является убедительной заявкой на докторскую степень.

Добротная докторская диссертация должна содержать целостную концепцию и теорию. По мнению Г. Селье [220], «чтобы научиться смотреть через широкоугольные линзы обширной теоретической концепции, требуется целая жизнь». На наш взгляд, гораздо лучше упомянутой линзы делу поможет *объектив с переменным фокусным расстоянием*. Концепция в виде сжатой и четкой формулировки иногда не приводится — но желательна. В учебном пособии [160] приводится множество развернутых примеров макроанализа докторских диссертаций, в том числе с критическим обзором «концепций». Для каждой концепции нужно найти короткое и емкое название.

Настоятельно рекомендуемый к использованию в разработке *системный подход*[1] состоит, в частности, в том, что цель задается с вышележащего уровня системной иерархии. Этот его аспект легко реализуется на основе дерева задач.

Работа начинается с технико-экономического (военно-технического) обоснования. Далее создается *технический облик* — принципы построения и работы системы. Устанавливается его связь с соседними уровнями системной иерархии. Любая частная задача решается по схеме *«цель → задача → способ решения → решение → анализ результата → выводы и рекомендации → реализация → оценка эффекта и затрат»*.

[1]Имейте, однако, в виду высказывание Н. Бора: «Искусство потому и бессмертно, что не поддается системному анализу» [82, с. 84].

Не ограничивайтесь рамками вашей науки и даже вообще науки: такие основополагающие понятия, как *атомы, материя, наследственность, энергия, элементы, инерция, бесконечность*, вошли в науку из религии, философии, этики. Не забывайте и об элементарном здравом смысле (имеются основания полагать, что это и есть сущность системного подхода).

После выбора объекта исследования диссертант должен составить его содержательную модель. Прежде всего задача упрощается до предела, так что остаются только главные ее черты: постепенно усложнять уже решенную задачу несравненно легче, чем заново решать сложную. Затем выясняется возможность решения задачи в предельных и частных случаях. Раньше, чем пытаться получить количественные решения, попробуйте представить себе результаты *качественно*. На всех этапах следует пытаться опровергнуть полученное, сопоставляя его с известными частными случаями.

В наши дни значительно возросла требуемая от ученых степень математической культуры. Этому процессу в современном производстве может быть сопоставлена тенденция обработки деталей по более высоким классам точности. Тем не менее рассматривайте использование математики и ЭВМ не как самоцель и способ демонстрации своей образованности, а как средство решения задачи.

Далее нужно провести *формализацию* — отображение содержания и структуры объектов с помощью знаковых систем. Специальная символика обеспечивает компактность модели, ее полноту и однозначность восприятия и в ряде случаев — исследование свойств формальными средствами (математический анализ в узком смысле слова, сети Петри, лингвистика и т. п.). Очень интересный обзор развития употребляемой в наше время математической символики приводится в [60, с. 24]. Значительной ее частью — обозначениями тригонометрических функций, знаками конечной разности Δ, суммы Σ, мнимой единицы i, основания натуральных логарифмов e — мы обязаны Л. Эйлеру [263, с. 3].

Обозначения должны быть тщательно продуманы *в их совокупности*. К примеру, в [171, с. 87] предлагается через $A_{[m,n]}$ обозначать прямоугольную $m \times n$ матрицу, $B_{[n]}$ — квадратную матрицу n-го порядка, $X_{\langle n \rangle}$ — n-мерный вектор, $M_{[n]}$ — конечное множество из n элементов. Ясно, что обозначения матричных объектов (в том числе векторов) должны *единообразно* указывать на их структуру, в частности — позволять отличить вектор-столбец от вектора-строки. Готические переменные с тильдой и «крышкой» одновременно, обставленные индексами

по всем четырем углам, тормозят работу мысли и приведут в ярость любого читателя, кроме автора системы обозначений. В таких случаях лучше положиться на контекст, содержащий необходимые уточнения.

Составьте граф известных и неизвестных переменных (модель задачи) — см. главу 17 [206]. Попробуйте прямое продвижение по нему от известных параметров к искомым и обратное. Испытайте «волну возбуждения»: входные переменные возбуждены (= известны) по определению; переменная считается возбужденной, если возбуждены все ее входы. Проверьте, все ли условия задачи вы использовали; нет ли избыточных. Последовательно сужайте область поиска решений, но не ограничивайте себя слишком рано. Найдя хотя бы одно решение, попытайтесь получить представление о *всем множестве* решений.

Не гонитесь за количеством и общностью *постановок* задач: помните, что все формально поставленные вами задачи должны быть здесь же *решены*. Держитесь к задаче возможно ближе, старайтесь обойтись максимально простыми средствами. Э. Ферми утверждал, что действительно понимающие природу того или иного явления должны уметь получать основные законы из соображений размерности. В [145, с. 31] этот подход иллюстрируется применительно к периоду колебаний маятника. Маятник движется к равновесию под действием силы тяжести; значит, период в первом приближении может зависеть от ускорения силы тяжести g, массы маятника m и его длины l. Из этих факторов можно оставить только одну комбинацию, имеющую размерность времени: $\sqrt{l/g}$.

Используйте *абстракции* реальных понятий — аналоги абсолютно черного тела, абсолютно твердого тела, идеального газа, материальной точки, математического маятника, тонкой линзы, несжимаемой жидкости, пружины без массы, конденсатора без утечки, простейшего потока событий. При большом числе параметров попытайтесь перейти к их комбинациям (обобщенным переменным) или проведите анализ чувствительности и отбросьте малозначимые.

Для замахнувшихся на новую формальную теорию укажем на современный (аксиоматический) стиль их оформления: алфавит, набор аксиом и правила получения корректно построенных формул. Аксиоматизация упорядочивает знание, исключает из него ненужные элементы, устраняет неоднозначность.

Не думайте, что хорошее знание математики, численных методов и навыки работы с ЭЦВМ позволят сразу решить любую прикладную задачу. Во многих случаях потребуется *доводка* методов: приспособление

их к решению конкретных задач. Часто приходится использовать методы, применение которых теоретически не обосновано или теоретические оценки точности практически бесполезны. При выборе метода решения задачи приходится полагаться на опыт предшествующего решения задач, интуицию, сравнение с экспериментом. Поэтому для успеха в работе развивайте неформальное мышление и умение рассуждать по аналогии, дающие основания *надеяться* на достоверность результата там, где строгие основания для этого отсутствуют.

При появлении новой идеи старайтесь проверить ее прежде всего «в чистом виде» — на таком частном примере, где она допускает верификацию и не загромождается побочными факторами, могущими замаскировать или исказить ожидаемый эффект. При возникновении сомнений в «классических» результатах ищите способы их проверки; убедитесь в корректности ваших собственных (лучше — несколькими путями); не торопитесь публиковать опровержение.

При математическом решении задачи всегда помните о ее смысле: длинные выкладки не скроют отсутствия содержательности. Пользуйтесь математическими пакетами подпрограмм преимущественно для проверки ваших результатов или сами проверяйте результаты, полученные пакетами (по крайней мере выборочно).

Не нагнетайте наукообразие теоретико-множественной терминологией; неоправданными экскурсами в абстрактную алгебру; перечислением всякого рода «четверок» и «пятерок», из которых не выводятся никакие формальные следствия, и т. п. *«Обурбачить» проблему — это не значит ее решить*! Акад. В. И. Арнольд [12, с. 72] всегда возражал против занудства бурбакистских оборотов речи.

Для любителей работы с нечеткими множествами приведем высказывание Н. Винера: «Приписывать неопределенным по самой своей сути величинам какую-то особую точность бесполезно и нечестно, и, каков бы ни был предмет, применение точных формул к этим слишком вольно определяемым величинам есть не что иное, как обман и пустая трата времени» [82, с. 83].

Если непосредственное решение задачи не просматривается, ищите решение близкой, но более простой. Попытайтесь решить расширенную задачу — иногда она оказывается проще (пример — процедура динамического программирования). Применяйте рекуррентный расчет для перехода от частной задачи к общему случаю. Например, необходимые для решения немарковских задач теории очередей интегралы

$$
\begin{aligned}
q_j &= \int\limits_0^\infty \frac{(\lambda t)^j}{j!} e^{-\lambda t} \frac{\mu(\mu t)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\mu t}\, dt &= \frac{\lambda^j}{j!} \frac{\mu^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int\limits_0^\infty t^{\alpha+j-1} e^{-(\lambda+\mu)t}\, dt \\
&= \frac{\lambda^j}{j!} \frac{\mu^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \frac{\Gamma(\alpha+j)}{(\lambda+\mu)^{\alpha+j}} &= \left(\frac{\mu}{\lambda+\mu}\right)^\alpha \left(\frac{\lambda}{\lambda+\mu}\right)^j \frac{1}{j!} \frac{\Gamma(\alpha+j)}{\Gamma(\alpha)}
\end{aligned}
$$

легко рассчитываются по формулам

$$
\begin{aligned}
q_0 &= \left(\frac{\mu}{\lambda+\mu}\right)^\alpha, \\
q_j &= q_{j-1} \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \frac{\alpha+j-1}{j}, \qquad j = 1, 2, \ldots
\end{aligned}
\tag{4.1}
$$

и *вообще не требуют обращения к гамма-функции.*

Старайтесь доводить решение до конца и как можно дальше — в символьной форме. На совет очень неприятное впечатление производит представление итога вычислений как $\sum_{k=0}^\infty x^k$ — известная из школьной математики сумма членов геометрической прогрессии, которая равна $1/(1-x)$, или $\sum_{k=0}^n \binom{n}{k}$ — сумма биномиальных коэффициентов, равная $(1+1)^n = 2^n$. Оба этих казуса, как ни странно, наблюдались автором на защите *докторских* диссертаций — отчего и запомнились.

Выведите из решенной задачи максимальное количество следствий. Рассмотрите частные и особые случаи. Очень часто результат применим при более широких предположениях, чем сделанные при выводе. Попытайтесь обобщить решение во всех возможных направлениях, ослабить сделанные ранее ограничения, отбросить часть данных. Не открылась ли возможность применить его к ранее отложенной проблеме? Если у вас сейчас нет времени решать эти задачи, по крайней мере зафиксируйте их состояние и подумайте над ними настолько долго и напряженно, чтобы они ушли на автоматическую обработку в подсознание, — но не теряйте время в «выбитой колее». При появлении свежих идей и свободного времени обратитесь к ним снова. Этот же подход применяйте, если долго не идет одна из отлаживаемых программ. Чередуйте виды деятельности: просмотр литературы, математические выкладки, составление и отладку программ, обработку результатов счета, эксперименты, набор текстов.

Сложные задачи пытайтесь расчленить на аналогичные проблемы меньшей размерности, пока не придете к задачам с очевидным решением (рекурсия). Классическими примерами рекурсивного подхода являются: вычисление факториала — см. любой учебник программирования;

приведенный в разд. 7.9 алгоритм быстрого возведения в целую степень, а также нелинейная сортировка Хоара — см. прокомментированную программу ее на *Фортране 90* в [205, 207]. Помните, что математическое изобретение образуется совокупностью выборов и комбинаций. Обязательно оценивайте не только положительные стороны, но и *минусы* ваших предложений — они всегда найдутся.

Всегда доводите ваши методы до программной реализации: часто лишь расчет показывает, что заманчивая идея ошибочна или неэффективна. Неудача сужает область поиска, ставит новую и конкретную проблему и стимулирует дальнейший прогресс; успех вдохновляет, укрепляет доверие к полученным результатам, повышает шансы на публикацию и внедрение. Однако не следует слишком полагаться на верхушки компьютерной грамотности. Соискатели стали меньше думать над математической стороной вопроса, и их увлечение «новыми» программными продуктами обычно является подсознательной попыткой уйти от напряжения собственной мысли. Не верьте пропагандистам лозунга «непрограммирующих» пользователей: к *вам* это, безусловно, не относится. Программирование является самой трудной из массовых профессий, поскольку

> «Именно программисты непосредственно упираются в пределы человеческого познания в виде алгоритмически неразрешимых проблем и глубоких тайн работы головного мозга. Собственный стек (магазин) программиста должен быть глубины не в 5–6 позиций, как это обнаружили психологи у среднего человека, а той же, что и стек в его очередной задаче, подлежащей программированию, плюс еще две–три позиции.
>
> Программист должен обладать способностью первоклассного математика к абстракции и логическому мышлению в сочетании с эдисоновским талантом сооружать все, что угодно, из нуля и единицы. Он должен сочетать аккуратность бухгалтера с проницательностью разведчика, фантазию автора детективных романов с трезвой практичностью экономиста.
>
> Необходимость постоянного преодоления этих проблем делает труд программиста весьма нелегким, но в то же время придает ему захватывающий интерес»
> (см. уже цитированную статью А. П. Ершова).

Будущий автор диссертации по техническим наукам вполне в состоянии развить у себя перечисленные качества. Поэтому, если речь идет не

о крупном программном проекте, независимо от высот служебного положения программируйте ваши методы *сами*: исполнитель может чего-то не понять, ошибиться в реализации, не сумеет интерпретировать результаты и своевременно внести нужную коррекцию. Все это многократно замедляет отладку метода. Напомним, что Э. Ферми — первый физик, который использовал мощные ЭВМ для своей работы, — сам был великолепным программистом, а ведь в те времена не было ни современных сервисных средств, ни даже алгоритмических языков. Акад. Я. Б. Зельдович применительно к обсуждаемой ситуации цитировал в [86] призыв некогда популярной песни:

«... Задачи решать самому,
И это серьезное дело
Нельзя поручать никому».

Ведите *дневник отладки*: он избавит вас от повторения безуспешных попыток, поможет отчитываться перед руководством и быстрее «восстанавливаться» после вынужденного перерыва. После окончания разработки *зафиксируйте ее сложность*. Статические меры сложности характеризуют объем описания алгоритма (количество строк исходного кода). Динамические меры сложности показывают затраты ресурсов на получение результата (количество операций, требуемый объем памяти) в зависимости от размера задачи и требуемой точности. Исследуйте их изменение в процессе разработки. Напишите сменные варианты программ, предпочтительные в разных ситуациях (дилемма «память — быстродействие»). Не забудьте включить эти материалы в текст диссертации: они гораздо вернее отражают полезность выполненной работы, чем толщина рукописи.

Профессиональные программисты, движимые велением совести и почти болезненным (на взгляд профана) стремлением к эстетическому совершенству, уделяют большое внимание качеству программ. Приведем несколько отрывков из воспоминаний о легендарном программисте Р. Османове [195]:

> «Откуда боль? А как еще назвать сильное ощущение дисгармонии? Она вокруг — повсюду, и особенно в наших бездарных программах. Он чувствовал, как перетекают друг в друга килобайты, как снова и снова в цикле мучительно происходят глобальные обращения, которых легко было избежать, лишь немного подумав.

Главное, что было в его работе, — это красота и гармония. Он мог работать сутками, переделывая только ему заметные недостатки. У него был "абсолютный слух" в программировании.

Любая программа, написанная Рустемом, могла служить образцом программистского стиля. Он писал программы настолько логично, компактно и изобретательно, что знакомиться с ними было целой наукой для начинающих и удовольствием для опытного программиста».

Однако начинающим программистам-прикладникам мы посоветуем не оптимизировать программу, пока она не станет работать правильно. Сохраняйте работающую версию до завершения отладки улучшенной. Параллельно с написанием программы продумайте организацию ее тестирования. Возможные варианты: соответствие качественным ожиданиям (каким?); частные задачи с известным решением; взаимное тестирование нескольких программ, реализующих существенно различные алгоритмы, на пересечении областей применения — см. разд. 4.3.4. Положительные результаты такого тестирования подкрепляют *достоверность* ваших предложений.

Структурируйте ваши программы, выделяйте фрагменты многократного пользования. Постепенно создавайте персональную проблемно-ориентированную библиотеку подпрограмм и *документацию по работе с ней*.

Самое важное в эксперименте и наблюдении — учиться *замечать*. С другой стороны, надо замечать не только то, что хотелось бы видеть, и по отношению к своим результатам играть роль «адвоката дьявола»[2].

Следует помнить, что «цель расчетов — понимание, а не числа» (Р. Хемминг). Результаты эксперимента должны представляться в удобочитаемой форме — таблицы, графики, диаграммы и т. п., и *наглядно* демонстрировать обнаруженный эффект. Различия в *функциональных зависимостях* показываются графиком, причем в области быстрого изменения функции точки нужно брать чаще, а выпадающие точки — перепроверять. Различия в *значениях* демонстрируются таблицей (для тонких эффектов) либо диаграммой (столбчатой или секторной). Многокритериальное сопоставление проводится на лучевых диаграммах, обсуждаемых в разд. 7.7.5.

Реальную опасность представляет собой бессознательная подгонка результатов под ожидаемые. Для профилактики Э. Резерфорд поручал

[2]Лицо в процедуре канонизации святых, ответственное за контраргументы.

делать измерения и строить графики студентам, которые не знали, что должно получиться. Кстати, сообщение (с комментарием) и менее удачных результатов послужит косвенным подтверждением достоверности.

Бланки со специальными координатными сетками позволяют быстро установить характер функциональной зависимости, обнаруженной алгоритмически или в физическом эксперименте. Соответствующие бланки при необходимости можно изготовить самостоятельно. Полулогарифмическая бумага обращает в прямую линию показательную функцию, логарифмическая — степенную. Кроме того, логарифмический масштаб применяется для представления неотрицательных величин, меняющихся в большом диапазоне. Помните, что *на логарифмической шкале не может быть нуля*!

4.2. Физический эксперимент

Эксперимент есть научно поставленная проверка искусственно вызванного явления в точно создаваемых или учитываемых условиях, что позволяет следить за его развитием, ходом, управлять им и воссоздавать каждый раз при повторении условий. Явление выбирается с тем расчетом, чтобы в нем с наибольшей вероятностью, ясно и однозначно воплощались следствия из рассматриваемой теории. *Наблюдение* можно рассматривать как пассивную форму эксперимента. *Ни измерения, ни наблюдения, ни эксперимент не имеют смысла без соответствующей теоретической схемы.*

Машинный (в смысле «вычислительный») эксперимент не является полноценной заменой «физического» в широком смысле слова. Далее мы для простоты будем называть физическим экспериментом любой, отличный от математического. Физический эксперимент Л. Д. Ландау считал верховным судьей всякой теории. Часто теория опережает эксперимент и предсказывает явления и эффекты, ранее неизвестные. Экспериментальное обнаружение их облегчается тем, что экспериментаторам указывалось, где именно и какие явления следует искать. Выводы теории, подлежащие экспериментальной проверке, должны содержать только *наблюдаемые* величины. Эксперимент должен давать повторяющиеся результаты и быть подтвержденным независимыми опытами других исследователей.

Моделирование требует установления *критериев подобия*, т. е. формулировки тех условий, при которых модель может считаться закономерно (в том или ином смысле) отражающей оригинал. Полным

считается подобие во времени и пространстве (с отвлечением от несущественных процессов), неполным — только во времени или в пространстве. При этом возможно введение масштабов. В [6, 38, 162] приведены сводки критериев механического, гидродинамического, теплового, электрического подобия.

Функциональная зависимость между характеризующими процесс величинами может быть представлена в виде зависимости между составленными из них критериями подобия. Рассматриваемая величина может быть принята в качестве переменной при исследовании системы, если с ее использованием удается составить безразмерные комплексы. В противном случае она исключается из рассмотрения или дополняется другими величинами. Работа с критериями подобия позволяет уменьшить число переменных в задаче, а также распространить результаты исследования одного процесса на подобный ему в установленном критериями смысле. Леонардо с помощью закона подобия объяснял, почему киты больше слонов [12, с. 49].

Весьма поучительный пример моделирования с использованием критериев подобия приводится в воспоминаниях А. Н. Крылова о его службе в опытовом бассейне [116, с. 133]:

> «Я приказал вычисление сопротивления (воды — движению судна. — *Ю. Р.*) делать следующим образом. Из наблюденного при работе с моделью сопротивления вычесть рассчитанное сопротивление от трения: получится остаточное сопротивление, которое умножается на куб масштаба и дает остаточное сопротивление корабля. К этому остаточному сопротивлению прибавляется рассчитанное сопротивление от трения на корабль — получится полное сопротивление корабля при скорости его, соответствующей скорости модели».

Хорошо поставленный и проанализированный эксперимент может «светить» науке долгие годы. Так, до войны основным полупроводником была закись меди. На этом соединении были изучены многие явления физики полупроводников. Но реальными полупроводниками для промышленного применения на основе созданной теории стали кремний и германий [7, с. 214].

Для проведения эксперимента любого типа необходимо:

- выдвинуть гипотезу, подлежащую проверке;

- поставить целевую задачу и выбрать объект;
- создать программу экспериментальных работ;
- определить способы вмешательства в объект исследования;
- разработать приемы фиксации хода и результатов эксперимента;
- подготовить приборы, устройства, программы и т. д.;
- обеспечить эксперимент обслуживающим персоналом и обучить последний применительно к конкретным задачам.

Всякий эксперимент сначала реализуется в мысленной форме. В соответствии с гипотезой *предварительно* определяется качественный характер ожидаемых результатов: это обеспечит быструю и правильную их оценку, мгновенно насторожит при неожиданностях, убережет от ошибочных выводов. Результаты мысленного эксперимента находят отражение в формулах, чертежах, графиках, набросках, методиках и др.

«Талант экспериментатора сказывается в умении выделить в чистом виде изучаемое явление, освободив его от побочных явлений» (А. Ф. Иоффе). Блестящим мастером физического эксперимента был ученик последнего П. Л. Капица, книгу которого [96] мы искренне рекомендуем всем читателям независимо от их специализации.

4.2.1. Виды и содержание эксперимента

Эксперименты различаются:

- по объекту (модель или натура);
- по способу формирования условий (естественные и искусственные);
- по целям (поисковые, констатирующие, преобразующие, контролирующие, иллюстрирующие);
- по организации (лабораторные, полевые, натурные, производственные, войсковые);
- по структуре (простые и сложные);
- по характеру воздействий на объект (вещественные, энергетические, информационные);
- по орудию (материальный и математический, в том числе реализуемый на ЭВМ);

- по степени вмешательства (пассивный и активный);
- по числу варьируемых факторов (одно- и многофакторный), и т. д.

Более подробное обсуждение см. в [162], с. 246 и далее.

4.2.2. Методика эксперимента

Методика есть последовательность мыслительных, математических и физических операций, в соответствии с которой достигается цель исследования. При проведении эксперимента необходимо обеспечить:

- целенаправленное наблюдение над объектом с целью определения исходных данных (гипотез, варьируемых факторов);
- создание и фиксацию условий (подбор объектов, режимов и условий их работы, средств измерений);
- определение пределов измерений и способа их проведения;
- определение способов поддержания постоянства условий и их варьирования;
- переход от эмпирических наблюдений к теоретическим обобщениям.

Каждый из пунктов этого перечня, вообще говоря, требует своего набора операций и, следовательно, своей методики. Самую серьезную роль как в прикладном, так и в фундаментальном исследовании играют технологии и «мелкие», на первый взгляд, детали эксперимента [8, с. 22].

Разработка методик (особенно в тонких физических опытах; при работе с особо опасными субстанциями, большими энергиями, высокими напряжениями, температурами или давлениями; в невесомости; вблизи абсолютного нуля по Кельвину; в пикосекундном временно́м диапазоне; в нанотехнологиях; со сложными техническими системами) может потребовать научного обоснования[3], содержать элементы существенной новизны и, следовательно, рассматриваться как *вклад соискателя в науку*. Методика должна соответствовать современному уровню науки, учитывать накопленный в ней опыт и быть четко описанной.

Конкретная методика включает замысел опыта, аппаратурное обеспечение (состав, ссылки на стандартные компоненты, описание нестандартных). Подробное описание можно публиковать отдельно в журналах

[3]Доверять приборам мы можем только тогда, когда существует признанная теория их функционирования.

типа «Приборы и техника эксперимента», «Приборостроение». В статьях должна содержаться лишь наиболее существенная информация; обязательны обеспечение достоверности (исключение мешающих факторов), анализ погрешностей. Далее обсуждаются качественный и количественный аспекты результатов в сопоставлении с литературой и с ожиданиями. Результатам дается физическое объяснение — прежде всего исходя из «простейших», самых общих закономерностей.

4.2.3. Планирование экспериментов

Перед каждым экспериментом составляется его план: цель и задачи, варьируемые факторы, объем и число опытов, последовательность и шаг изменения значений факторов, средства этого изменения, способы обработки результатов. Факторы упорядочиваются по степени влияния.

При *стратегическом* планировании экспериментов руководствуются следующими принципами:

- логическая последовательность;
- постепенное увеличение масштабов;
- переход к новому эксперименту после «сбора урожая» с предыдущего.

Тактика эксперимента определяется жесткой нацеленностью на результат:

- не откладывайте работу, добивайтесь результата «здесь и сейчас»;
- ставьте любой эксперимент в контролируемых условиях и так, чтобы выделить исследуемый эффект в чистом виде; все результаты эксперимента (не только удобные диссертанту) фиксируйте в журнале;
- ищите аналогии и отличия в сопоставлении с располагаемой системой знаний;
- старайтесь посмотреть на вещи под новым углом зрения, чтобы увидеть скрытые доселе грани (здесь помогают простота, непредвзятость и отбрасывание накопленных за годы работы шаблонов мышления);
- пытайтесь *обобщить* наблюдения.

Культивируйте в себе способность удивляться и задумываться. Помните, что:

- любое число подтверждающих примеров укрепляет доверие к гипотезе, но *не доказывает* ее;
- даже один отрицательный пример может ее опровергнуть или дать основание для пересмотра и развития, а потому должен быть проверен с особой тщательностью;
- наиболее важны *отклонения* от закономерностей;
- любого рода «подчистки» в результатах эксперимента несовместимы с научной этикой; «патологические» результаты должны быть объяснены.

Любой тонкий эксперимент, к какой бы области науки он ни относился, плохо повторяем. Если изучаемый эффект сравним с фоном мешающих явлений, для его последующего выделения приходится делать многократные измерения и «набирать статистику». Формальная структура эксперимента (количество прогонов, выбор исходных данных для них и характер обработки результатов) определяются его целью:

- классификацией факторов на существенные и несущественные;
- разделением коэффициентов влияния факторов и их комбинаций на целевую функцию;
- нахождением наивыгоднейшей комбинации факторов.

Первая проблема решается средствами дисперсионного анализа, вторая — регрессионного и факторного (скрининг), третья — методами статистической оптимизации.

Базовые понятия теории экспериментов. Планирование экспериментов предполагает предварительный выбор *метрики* (целевой функции), которая количественно оценивает состояние системы или некоторую другую величину. Измерения значений целевой функции в теории планирования экспериментов называются *наблюдениями*, а все их множество — *результатами*. Мы хотим изучить влияние одного или нескольких управляемых *факторов* на результаты наблюдений.

Зададим значения (*уровни*) факторов, которые будут определять условия каждого прогона. Когда имеется несколько факторов, должны быть определены векторные уровни. Если влияние некоторого фактора

зависит от значения другого и не сводится к сумме влияний, мы говорим о *взаимодействии* этих факторов. Взаимодействия могут связывать любое число факторов.

Будем повторять эксперимент много раз, называя каждый *прогоном*. Комбинация уровней определяет условия прогона. Одно или несколько наблюдений составляют его *результаты*. Когда условия прогона неизменны (исключая рандомизацию), мы называем прогоны *репликами*. Они образуют *ячейку* эксперимента. Результаты в совокупности заполняют матрицу результатов. После очередного прогона следует *параллельно* заполнить одноименные клетки всех матриц.

При обработке результаты разделяются на *эффекты*, приписываемые факторам и их взаимодействиям и обозначаемые буквами и комбинациями букв. Как это разделение проводится, зависит от базовой аддитивной модели, именуемой *статистическая модель*. Внутренние случайные отклонения вынуждают наблюдения слегка отличаться от суммы эффектов в статистической модели. *Ошибка* наблюдения получается вычитанием из него оценок эффектов, соответствующих членам статистической модели. Она называется *остатком* (residual).

Дисперсионный анализ. К большинству сложных систем применим *принцип Парето*, согласно которому 20% факторов определяют свойства системы на 80% (аналогичное соотношение известно для авторов научной продукции коллективов [77], наименований предметов снабжения в системах управления запасами [196, 208] и др.). Поэтому первоочередной задачей исследователя является отсеивание несущественных факторов, позволяющее уменьшить размерность задачи оптимизации системы или ее модели.

Анализ вариации (дисперсии), он же Analysis of Variation (ANOVA), оценивает отклонение наблюдений от общего среднего. Затем вариация разбивается на части, каждая из которых имеет свою причину. Остаточная часть вариации, которую не удается связать с условиями эксперимента, считается его случайной ошибкой. Ошибка оценивается в среднеквадратических отклонениях (СКО). Для подтверждения значимости используется специальный тест — F-статистика. В связи с большой актуальностью данной задачи однофакторные и многофакторные подпрограммы ANOVA включаются во многие пакеты (как общего, так и специально статистического назначения) математических подпрограмм для ПЭВМ. Отметим, в частности, систему имитационного моделирования *GPSS World*.

Рассмотрим для простоты двухфакторную задачу, в которой первый фактор был зафиксирован на уровнях $i = \overline{1, I}$, а второй на уровнях $j = \overline{1, J}$, и оценим значимость влияния второго фактора. Суммарное рассеивание откликов

$$S = \sum_i \sum_j (y_{ij} - y_{..})^2 = \sum_i \sum_j (y_{.j} - y_{..})^2 + \sum_i \sum_j (y_{ij} - y_{.j})^2 = S_1 + S_2,$$

где

$$S_1 = \sum_i \sum_j (y_{.j} - y_{..})^2 = I \sum_j (y_{.j} - y_{..})^2 \tag{4.1}$$

есть рассеивание средних для уровней второго фактора относительно общего, а

$$S_2 = \sum_i \sum_j (y_{ij} - y_{.j})^2 = \sum_j \sum_i (y_{ij} - y_{.j})^2 \tag{4.2}$$

представляет рассеивание откликов внутри уровней. В обеих формулах точки вместо индекса означают усреднение по всем возможным его значениям. Величина S_1 имеет $J - 1$ степеней свободы (J слагаемых, по которым определено их среднее); S_2 имеет $J(I - 1)$ степеней свободы (J сумм по I слагаемых, в каждой из которых определено среднее). Поправка на число связей позволяет получить несмещенную оценку СКО при отсутствии других эффектов.

Если верна *нулевая* гипотеза о независимости ожидаемых откликов от уровня фактора j, то нормированные упомянутые компоненты рассеивания можно представить в виде

$$\begin{aligned} S_1/(J-1) &= \sigma_Y^2 \chi^2_{J-1}, \\ S_2/(J(I-1)) &= \sigma_Y^2 \chi^2_{J(I-1)}. \end{aligned}$$

Здесь σ_Y^2 — общая дисперсия откликов, по предположению не зависящая от уровней факторов, а χ^2_M — случайная величина, распределенная по закону χ^2 с M степенями свободы. Отношение R нормированных компонент рассеивания должно быть подчинено известному распределению Фишера $F_{J-1,J(I-1)}$ с указанной в индексе парой степеней свободы [91]. Если R больше порога $r(P)$, выбираемого в зависимости от доверительной вероятности P, рассматриваемый фактор является *значимым*. В противном случае верна нулевая гипотеза.

Регрессионный анализ позволяет прогнозировать отклик в некоторой точке пространства параметров. Для простоты и определенности представим результаты полного двухфакторного эксперимента в виде

$$y = \mu + \alpha_A \cdot A + \alpha_B \cdot B + \alpha_{AB} \cdot AB + \varepsilon. \tag{4.3}$$

Здесь

μ	—	математическое ожидание отклика;
A, B	—	факторы;
α_A, α_B, α_{AB}	—	коэффициенты их влияния порознь и совместно;
ε	—	случайная ошибка с нулевым средним и дисперсией, не зависящей от факторов.

Равенство (4.3) представляет собой *регрессию* y по факторам A и B. Вид регрессии определяется структурой правой части. В данном случае это квадратичная функция двух переменных без «чистых квадратов», позволяющая прогнозировать линейные эффекты и парное взаимодействие факторов. Более сложные виды функции регрессии (логарифмическая, гиперболическая и т. д.) применяются на основе теоретических соображений или достаточных экспериментальных данных.

Прогноз состоит в вычислении ожидаемого значения отклика (напомним, что средняя ошибка $M[\varepsilon] = 0$) по формуле регрессии с известными коэффициентами для значений факторов, лежащих внутри выбранных диапазонов. Непосредственной задачей регрессионного анализа является оценка коэффициентов регрессии.

Комбинаторный характер ситуации (исследование главных эффектов и всех возможных взаимодействий) часто делает исчерпывающую совокупность прогонов, называемую *полным факторным экспериментом*, нежелательной по временны́м или стоимостным соображениям. Чтобы сделать процедуру более экономной, число уровней каждого фактора ограничивают двумя — тогда объем полного эксперимента с k факторами составит 2^k прогонов. Желание уменьшить число прогонов, не жертвуя наиболее важной информацией, приводит к *дробным* факторным экспериментам. На основе отчета о таком (скрининг-) эксперименте можно планировать дальнейшие действия: игнорировать незначащие факторы, более углубленно исследовать существенные, оптимизировать последние.

Теория *планирования экспериментов* рассматривает проблему построения наиболее экономичных планов, позволяющих получить упомянутые коэффициенты. Планы характеризуются типом регрессионной зависимости, разрешением (способностью разделения главных эффектов и их комбинаций), размещением исследуемых точек в окрестности опорной, количеством значений каждого параметра и т. д. — см. [3, 85, 101, 115].

4.2.4. Техническое оснащение

Современный физический эксперимент характеризуется усложнением его замысла, увеличением объема и динамики информации, возрастанием стоимости единицы времени работы на установке, усложнением алгоритмов обработки, возрастанием требований по срочности получения результатов. В [119] приводятся схемы различных экспериментальных установок: токамака, ускорителей, реакторов, химических колонн, гиперзвуковой ударной аэродинамической трубы. Истинное мастерство экспериментатора состоит в получении результата максимально простыми средствами.

Современный физический эксперимент должен проводиться в рамках автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) — совокупности технических и программных средств, методического обеспечения и математических методов (рис. 4.1). Принципами АСНИ являются:

- единая методология;
- типизация и стандартизация аппаратных и программных модулей;
- расширяемость;
- совместимость с ЭВМ и их сетями.

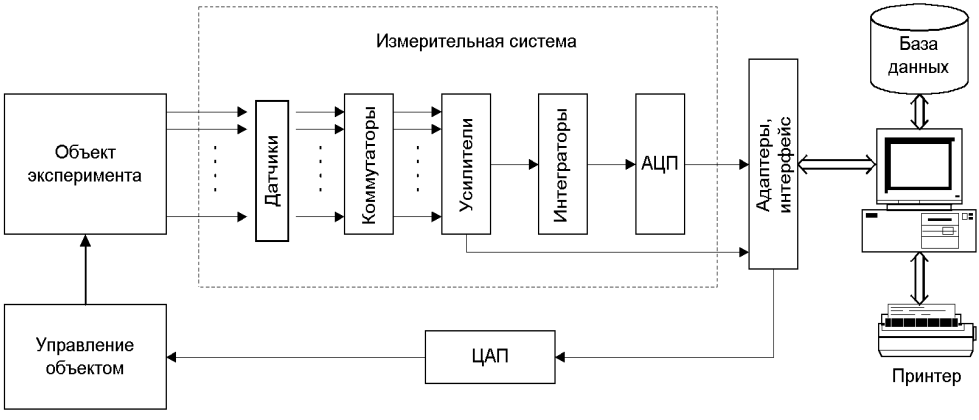

Рис. 4.1. Структурная схема АСНИ

При создании новых приборов по возможности используются стандартные узлы. АСНИ не посягает на уникальность физических экспериментов, опытных установок и средств съема первичной информации.

Международная система КАМАК построена по совокупности стандартов на логическую, электрическую и конструктивную реализации *устройств сопряжения и обмена информацией* между измерительной аппаратурой и ЭВМ. Она имеет модульную структуру и конструктивно выполняется в виде автономных блоков (*крейтов*) — совокупностей функциональных модулей (аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, генераторы и счетчики импульсов, усилители, специализированные микроЭВМ и т. п.), магистрали обмена информацией и контроллера крейта. Контроллер обеспечивает связь с ЭВМ и управляет функциональными модулями с помощью стандартного канала передачи данных.

Развитые АСНИ специализированы применительно к характеру эксперимента и его обработки, содержат ЭВМ различной производительности вплоть до суперЭВМ, строятся по иерархическому принципу. В их математическое обеспечение включаются средства: тестирования и настройки всего программно-аппаратного комплекса; управления экспериментом; его оптимального планирования; обработки результатов (в том числе визуализации), а также банки данных и пакеты общематематических и специализированных программ.

4.2.5. Средства измерения

Аппаратура должна быть надежна, откалибрована и достаточно чувствительна. Средства измерения предпочтительно использовать стандартные, обеспечивающие необходимую и достаточную точность, прошедшие поверку установленным порядком (интервал между поверками допускается 1–2 года). Для обнаружения слабых эффектов (например, смещение перигелия Меркурия составляет 13" в столетие) точность должна быть очень высокой. Согласно [49, с. 325], частота может быть измерена до 16-го знака, время — до 11-го.

Методы измерений должны базироваться на законах и рекомендациях метрологии. Измерения можно разделить на прямые и косвенные (вычисления через непосредственно измеряемую величину). Методами измерения являются: непосредственная оценка, сравнение, противопоставление (компенсационные схемы), замещение, совпадение и т. п. [162, с. 261–262]. Предпочтительны *цифровые* приборы, исключающие ошибку считывания, и в особенности печатающие результаты или выводящие графики на ленту самописца. Такие результаты могут быть включены в отчет об эксперименте и помещены в приложение к диссертации.

4.2.6. Проведение эксперимента

Объект опыта должен быть адекватен его целям. При исследовании надежности, отработке технологий, в биологии и медицине должна проводиться *рандомизация* объекта. Случайный и произвольный порядок выборки — вещи разные! Абсолютно необходима регистрация исходных параметров и фоновых эффектов.

При подборе аналитических зависимостей, описывающих экспериментальные кривые, следует максимально использовать теоретические положения данной науки. Свою «экологическую нишу» имеют и средства чисто формального подбора эмпирических кривых — например, в тех случаях, когда полученная кривая используется в составе сложного алгоритма оптимизации и необходимо ее дифференцирование. М. Планк свою формулу для излучения абсолютно черного тела предложил как эмпирическую и установил ее физический смысл много позже [191, с. 124]. Основные типы аппроксимаций обсуждаются, например, в [162, с. 296]. В пакетах математических подпрограмм предлагаются средства таких аппроксимаций.

Хорошее согласие результатов различных подходов, аппроксимаций и т. п., когда графики практически сливаются, лучше демонстрировать *в таблицах*. При большом числе совпадающих знаков предпочтительно свести в таблицу эталонный результат и относительные отклонения от него сравниваемых вариантов — см. с. 223.

4.3. Математический эксперимент

Принципиальной особенностью математики как науки является *компьютерный* характер проводимых в ней экспериментов. Развитие вычислительных экспериментов привело к появлению, наряду с экспериментальной и теоретической, *вычислительной физики*. В Санкт-Петербургском университете недавно учреждена соответствующая кафедра; большая работа в этой области проводится также в ВКА им. А. Ф. Можайского под руководством проф. В. Н. Калинина.

Достоинствами компьютерных экспериментов являются универсальное оборудование, сколь угодно малые инструментальные погрешности и исключительная гибкость. Математический эксперимент проводится над *абстрактной моделью* явления, которая в интересующем исследователя смысле должна быть достаточно адекватной оригиналу.

4.3.1. Постановка задачи

Математическая модель реальной системы — это совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий, операторов и т. д.), определяющих характеристики состояния системы (а через них и выходные сигналы) в зависимости от параметров системы, входных сигналов, начальных условий и времени. Математическая модель *концентрирует* в себе записанную на определенном языке (естественном, математическом, алгоритмическом) совокупность наших знаний, представлений и гипотез о соответствующем объекте или явлении. Поскольку эти знания никогда не бывают абсолютными, а гипотезы вынужденно или намеренно не учитывают некоторые эффекты, модель лишь приближенно описывает поведение реальной системы. Важнейшая особенность модели состоит в возможности неограниченного накопления специализированных знаний без потери целостного взгляда на объект исследования. Расчеты на прочность, устойчивость, надежность, безопасность, точность и др. — важнейшие элементы профессиональной деятельности инженера — в сущности являются специализированными видами моделирования. В [105] приводится ряд постепенно усложняемых моделей радиоэлектронных устройств — от диода до лазерного излучателя.

Одна и та же система может представляться различными концептуальными моделями, которые строятся в зависимости от целей исследования, сформулированных на предыдущем этапе. Например, одна концептуальная модель может отображать временны́е аспекты функционирования системы, другая — надежностные. Концептуальная модель служит основой для разработки математической модели в терминах конкретного математического аппарата.

При разработке новой системы для начала строится и оптимизируется стандартными методами простейшая модель, учитывающая важнейшие факторы. При этом упрощается структура линий уровней целевой функции, вычисление каждого значения функции оказывается менее трудоемким. Затем модель постепенно усложняется с учетом все новых и новых факторов и ставятся задачи оптимизации по все большему числу параметров. Решение каждой из них обычно оказывается хорошим начальным приближением для следующей. Точная модель, как правило, имеет более узкую область применения, зато представляет в ней бо́льшую практическую ценность — вплоть до применения в реальном контуре управления. Сравниваемые модели должны быть сопостави-

мы (например, должны работать при одних и тех же внешних условиях). Усложнение заканчивается, когда ввод новых дополнительных факторов перестает заметно влиять на целевую функцию.

Например, аэродинамика первоначально строилась в предположении, что воздух является идеальной несжимаемой жидкостью. Такая модель среды действовала безотказно, пока скорости самолетов не превышали 200 км/час. Далее потребовалось учитывать сжимаемость воздуха. Принципиальные изменения пришлось внести при приближении к сверхзвуковым скоростям. Наконец, модель гиперзвуковой аэродинамики учитывает сложные физико-химические процессы в ближайшей окрестности летательного аппарата и на его поверхности.

Другой пример простой и эффективной модели — ньютоновская теория тяготения, созданная для описания солнечной системы (небесные тела рассматривались как материальные точки). Она позволила определить массы планет и их расстояния от Солнца и, более того, *предсказать* существование двух планет (Нептуна и Плутона) и открыть их. Однако ее пришлось уточнять для движения Меркурия (релятивистские эффекты) и низкоорбитальных спутников и ракет (нецентральность поля тяготения Земли и его локальные искажения, моделируемые системой дополнительных точечных масс).

Всякая модель не учитывает некоторые свойства оригинала и потому является его *абстракцией*. Чем выше уровень обобщения, тем грубее модель и тем шире область интерпретации результатов моделирования. Проиллюстрируем эту мысль на математическом моделировании математических же объектов. Первым шагом в решении любой задачи обычно является построение *линейной* модели, которая позволяет пользоваться принципом суперпозиции: реакции на компоненты суммарного сигнала суммируются. Члены низкого порядка разложения функции в ряд Фурье несут обобщенную информацию о ней, высокого — более частную. При распознавании плоских фигур сопоставляют их моменты относительно координатных осей, начиная с моментов нулевого порядка (площади). Первые моменты определяют положение центра масс, вторые — моменты инерции и т. д. Сходство двух образов оценивается по совпадению нескольких начальных моментов. Этот подход применяется и при сравнении *распределений случайных величин*.

Решение прикладной проблемы с применением математики неизбежно требует математического моделирования — см. рис. 4.2. Элементы, выделенные на этой схеме штриховым контуром, являются компонентами программного обеспечения ЭВМ или этапами машинной обработки.

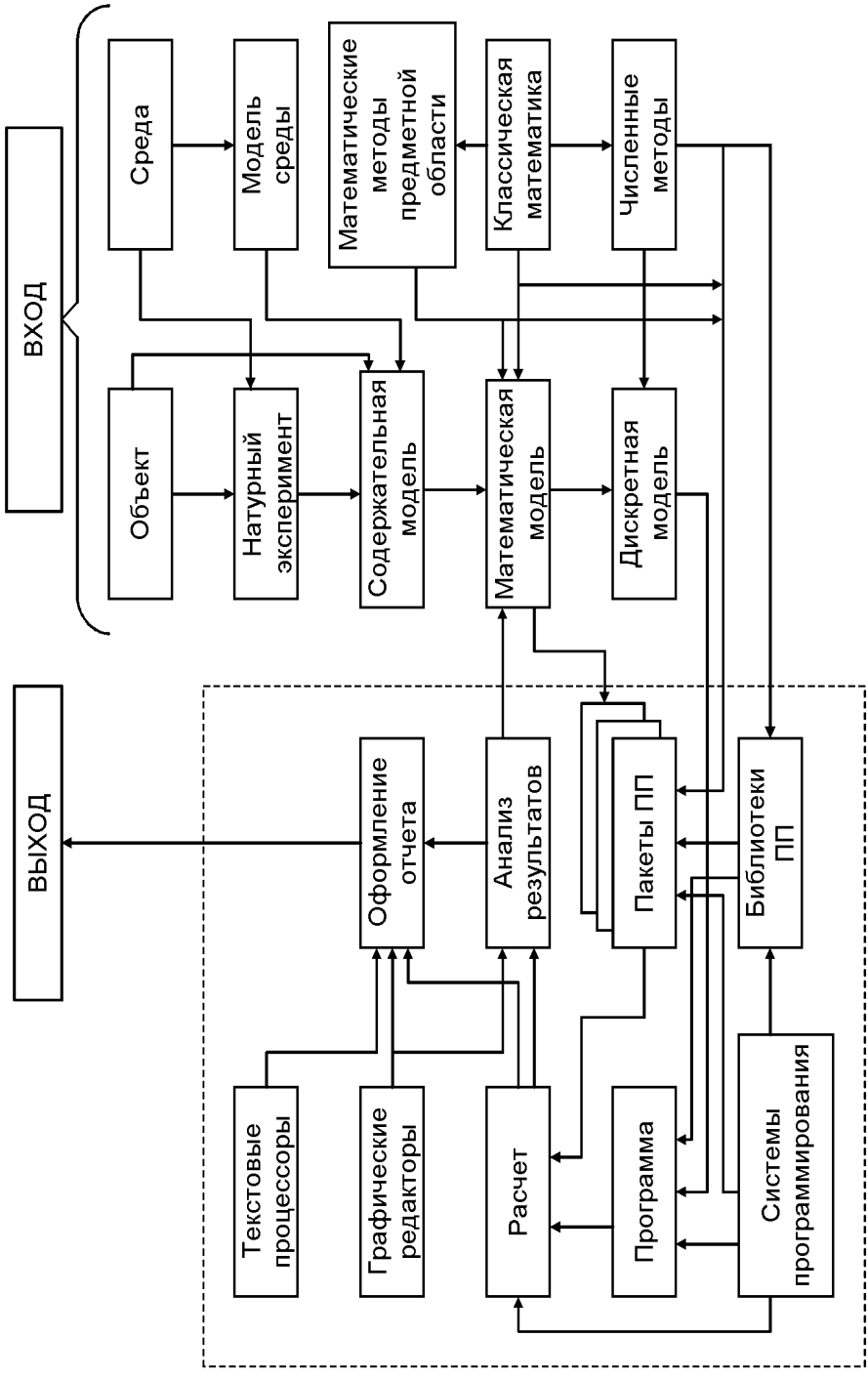

Рис. 4.2. Организация математического эксперимента

Адекватность модели объекту всегда ограничена и зависит от цели моделирования. Рекомендуется выбирать модель минимальной сложности при заданной точности либо максимальной точности — при заданной сложности. Понятие сложности обычно оценивается длиной программы.

Принцип *баланса точности* предполагает соизмеримость погрешностей, вызываемых различными причинами: неполнотой модели, неточным заданием ее параметров, погрешностью выбранного численного метода, счетом в ограниченной разрядной сетке (это не означает необходимости искусственного загрубления уже достигнутых показателей).

При исследовании сложных систем может потребоваться создание *набора* моделей, соответствующих разным иерархическим уровням рассмотрения и функциональным разрезам деятельности системы. Такое описание на каждом уровне использует свой набор понятий и терминов.

В сравнении с натурным экспериментом математическое моделирование имеет следующие преимущества:

1. Экономичность и сбережение ресурсов реальной системы.
2. Возможность разделить любое исследование на *предметные* вопросы, относящиеся к изучаемым объектам, и *логические*, разрешаемые средствами языка.
3. Возможность моделирования гипотетических, т. е. не реализованных в натуре объектов (прежде всего на разных этапах проектирования).
4. Возможность реализации режимов, опасных или трудновоспроизводимых в натуре (последствия 100-мегатонного ядерного взрыва, критический режим ядерного реактора, работа системы ПРО).
5. Возможность изменения масштаба времени.
6. Легкость многоаспектного анализа.
7. Сжатие информации и ее единообразное представление, способствующие усмотрению целого.
8. Наличие строго сформулированных правил, позволяющее:
   - вскрыть ложность некоторых предубеждений;
   - заменить содержательные рассуждения формальным преобразованием выражений — в частности, выполнить оптимизацию;
   - выявить глубинные (сущностные) свойства и отношения и как следствие получить бóльшую прогностическую силу и построить разнообразные аналогии.

9. Универсальность технического и программного обеспечения проводимой работы (ЭЦВМ, системы программирования и пакеты прикладных программ широкого назначения).

Математическое моделирование на определенных этапах исследования может сочетаться с натурным. Классическим примером такого подхода является исследование динамики летательного аппарата на комплексе из математической модели движения самого аппарата, воспроизводимой на аналоговой или цифровой ЭВМ, и макета реальной аппаратуры управления. Практическое использование модели возможно лишь после тщательного ее исследования и настройки.

Адекватность модели устанавливается проверкой для нее основных законов предметной области типа законов сохранения и сопоставлением результатов моделирования частных вариантов с известными для этих вариантов решениями.

Задачей *идентификации* (см. [105]) является определение значений рабочих параметров модели по набору исходных данных, обычно получаемому в результате наблюдения над реальной системой. «Формульная структура» модели при этом предполагается известной.

Выявление *значимых параметров* (и пренебрежение остальными) позволяет уменьшить размерность пространства параметров. Оно базируется на определении коэффициентов чувствительности выходных показателей по отношению к входным и представляет особую ценность при оптимизации. Техникой получения таких оценок занимается *теория планирования экспериментов* — см. разд. 4.2.3.

Возможность исследования того или иного явления реального мира некоторым математическим методом определяется формальными свойствами построенной модели. Познание разделяется на два этапа: формирование математической модели и получение логических следствий из нее. Оба этапа требуют *осознания и четкой фиксации сделанных допущений и принятых ограничений*. Однако они имеют и специфические сложности. Составление модели требует проникновения в природу вещей и достижения *внешнего* правдоподобия — достаточной степени адекватности математической модели реальному объекту по интересующим исследователя свойствам. Одним из простейших инструментов проверки внешнего правдоподобия является контроль размерностей. Приравниваться, складываться и вычитаться могут только величины одинаковой физической размерности; при контроле умножения и деления размерности операндов выражаются через базовые единицы.

Под *внутренним* правдоподобием понимается точность реализации математических соотношений. Между внутренним и внешним правдоподобием должен выдерживаться разумный баланс: точность вычислений должна соответствовать точности исходных данных. Возможны и отклонения от этого принципа: к максимальному уровню внутреннего правдоподобия независимо от уровня внешнего стремятся, если:

- осуществляется проверка внешнего правдоподобия;
- речь идет о разработке нового метода исследований, который предполагается применить к широкому, не фиксированному заранее классу моделей.

Второй этап требует умения найти и использовать нужный аппарат. На последний часто наталкивает рассмотрение частных случаев и результатов численных расчетов. Это прежде всего отбор влияющих факторов, а также предельное поведение параметров (например, в задачах теории надежности — быстрое восстановление, простейший поток отказов).

4.3.2. Классификация математических моделей

Математическое моделирование можно разделить на аналитическое, имитационное и комбинированное. При *аналитическом* моделировании процессы функционирования элементов системы записывают в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных, конечно-разностных и других соотношений и логических условий. Поэтому в ряде работ, посвященных методике научных исследований, предприняты попытки классификации и построения схем выбора математического аппарата [83, 112, 162, 143].

Не все эти попытки удачны. Например, в учебнике для высшей школы [162] в нескольких местах упоминается *алгебра* — какая из десятка известных видов? Теория вероятностей предлагается отдельно от случайных процессов, которые являются составной ее частью. В свою очередь, последние по [162] не включают в себя марковские цепи. Теория автоматического управления связывается только с детерминированными задачами — давно пройденным этапом ее развития. В [112] перечень методов исследований является практически случайным: имитация, Монте-Карло, критерий Гурвица, массовое обслуживание, трапецеидальные характеристики, системный анализ, гармоническая линеаризация. В [143] выделяются теория вероятностей, отдельно теория массового обслуживания; теория игр и (?!) матричные вычисления; математическое програм-

мирование, причем к последнему отнесен, в частности, математический анализ (?!). По-видимому, подобные классификации можно воспринимать всерьез только в области компетенции их авторов, которую легко установить по списку цитированных *собственных* работ.

В круге аналитических методов прежде всего нужно выделить дающие общее представление о явлении.

Качественная теория дифференциальных уравнений позволяет выявить структуру регулярных и особых решений. В ее основе лежит понятие *фазового портрета* системы: траектории состояния в осях «переменная — производная от нее». На фазовой плоскости наглядно видны устойчивый и неустойчивый процессы (сходящаяся и расходящаяся спирали соответственно), устойчивые колебания (эллипс), аттракторы (предельные режимы) и области их притяжения и т. п. — см. также [83]. Это существенно влияет на выбор метода решения.

Раньше, чем пользоваться ЭВМ, задачу необходимо всесторонне исследовать аналитическими методами. Под *аналитическим решением* в узком смысле слова понимают явную формулу, связывающую искомую величину с параметрами модели. Ее исследование дает весьма ценную информацию. Возьмем, к примеру, формулу Полячека—Хинчина для среднего времени ожидания заявки в системе массового обслуживания вида $M/G/1$:

$$w = \frac{\lambda b_2}{2(1-\lambda b_1)}, \tag{4.1}$$

где λ — интенсивность потока заявок, а $\{b_k\}$ — начальные моменты распределения длительности обслуживания. Ясно, что произведение λb_1 (коэффициент загрузки системы) должно быть строго меньше единицы, и при его устремлении к единице среднее время ожидания стремится к бесконечности. Далее, второй момент распределения обслуживания $b_2 = b_1^2 + D$, где D — дисперсия. При фиксированных λ и b_1 ожидание w минимально при регулярном обслуживании $(D = 0)$, а при переходе к обычно используемому показательному закону увеличивается ровно вдвое. Для распределения времени обслуживания с коэффициентом вариации 2 среднее время ожидания будет в пять (!) раз больше, чем для вырожденного. Кстати, автор встречал «ученых», которые не подозревали о существовании распределений с превышающим единицу коэффициентом вариации.

Решение типа (4.1) («замкнутое») всегда предпочтительно, но вывести его обычно удается лишь после ряда упрощающих предположений. Возможность его получения весьма критична к изменениям моде-

ли, здесь требуются высокая квалификация и значительные творческие усилия разработчиков.

Решение задачи часто удается получить с помощью преобразований (Лапласа, Фурье и др.) исходных функций к виду, где легче выполняются нужные операции (дифференцирование, интегрирование, свертка). Затем делается обратный переход.

При исследовании процессов вариационными методами проводится оптимизация *функционала* — функции от функции, при оптимальном выборе которой можно получить, к примеру, минимальные промах, энергозатраты или время достижения желаемого состояния.

Гораздо чаще удается применить *численные* методы — в особенности при наличии хорошей библиотеки подпрограмм. Численные методы дают лишь частные результаты, по которым трудно делать обобщающие выводы. Для оптимизации модели необходим многовариантный счет.

Выбор метода вычисления тем эффективнее, чем больше данных имеется о конечном решении задачи. В процессе прикидочных исследований осуществляется сравнение величин отдельных членов уравнений в изучаемом диапазоне изменения переменных и параметров задачи. Анализ реальных систем показывает, что члены уравнений редко бывают одинаково значимыми: одни важны в определенной области пространства, другие при некоторых значениях времени. В конкретных условиях относительно малые слагаемые отбрасываются, нелинейные зависимости линеаризуются, случайные величины заменяются их математическими ожиданиями, быстро колеблющиеся — средними значениями. Иногда оказывается достаточным грубое приближение (например, при решении задач оптимизации с пологими экстремумами). Однако *в окрестности экстремума аппроксимация должна быть минимум квадратичной.*

Как при аналитических выкладках, так и при численном решении должны проверяться:

- осмысленность решения при устремлении параметров к предельным значениям (например, к нулю, единице или бесконечности);
- факт задания и выполнение начальных и граничных условий;
- физический смысл промежуточных результатов;
- однозначность решения;
- устойчивость решения при малых вариациях параметров.

При *имитационном* моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени и в пространстве, причем имитируются составляющие процесс элементарные явления с сохранением его логической и временной структуры. Имитационное моделирование усугубляет недостатки численного, но зато практически свободно от ограничений на класс решаемых задач. Обычная сфера его применения — стационарные дискретные случайные процессы в непрерывном времени.

Весьма перспективно *комбинированное* моделирование, сочетающее (в умелых руках) достоинства всех рассмотренных подходов.

Далее мы рассмотрим два примера математических экспериментов из личного опыта автора. Первый иллюстрирует логику поиска ошибки в программе по физическому смыслу результатов, а второй — методику эксперимента по тестированию инструментального программного комплекса и форму представления его результатов.

4.3.3. Прикладное программирование

В [205] обсуждалось программирование задачи на динамику тела переменной массы — вертикальный подъем воздушного шара, увлекающего за собой сложенный на Земле трос. Масса воздушного шара меняется по закону

$$m = m_0 + \frac{\gamma}{g}h = (G_0 + \gamma h)/g,$$

где m_0 — масса воздушного шара без троса; γ — удельный (погонный) вес троса. Объем шара W, площадь его поперечного (горизонтального) сечения S, а также ускорение силы тяжести g предполагались постоянными, а длина и прочность троса — достаточными. Плотность воздуха меняется по закону $\rho = \rho_0 e^{-\alpha h}$. Требовалось рассчитать скорость подъема v и высоту h как функции времени.

На шар действуют силы: подъемная (архимедова) $P = \rho g W$, сила тяжести $G = G_0 + \gamma h$ и сила сопротивления воздуха $R = C_x S \rho v^2/2$, направленная *против* движения шара. Здесь через C_x обозначен коэффициент лобового сопротивления. Составим дифференциальное уравнение в форме Мещерского для вертикального движения шара:

$$m\ddot{h} = -\dot{h}\, dm/dt - (G_0 + \gamma h) + gW\rho_0 e^{-\alpha h} - C_x S \rho_0 e^{-\alpha h}\, \dot{h}^2/2. \qquad (4.2)$$

Здесь $dm/dt = d/dt\{(G_0 + \gamma h)/g\} = \gamma \dot{h}/g$, так как G_0, γ, g — постоянные. Поделив уравнение (4.2) на массу $m = (G_0 + \gamma h)/g$ и учтя, что

$\ddot{h} = d\dot{h}/dt = dv/dt$, после элементарных преобразований получим

$$\begin{aligned} dv/dt &= -g + \{Wg^2\rho_0 e^{-\alpha h} - (\gamma + bG_0\rho_0 e^{-\alpha h})v^2\}/(G_0 + \gamma h), \\ dh/dt &= v. \end{aligned}$$

Здесь

$$b = \frac{C_x S}{2m_0} = \frac{C_x S g}{2G_0}.$$

Первое из дифференциальных уравнений существенно нелинейно, так что задачу приходится решать численно.

По расчету шар совершал громадные колебания от максимальной высоты подъема 1220 м почти до поверхности Земли. Причиной могла быть только дополнительная снижающая сила при потере высоты — сила сопротивления воздуха оказывалась по-прежнему направленной *вниз*. После исправления v^2 на $v * |v|$ (оцените его элегантность!) шар совершал колебания разумной затухающей амплитуды относительно высоты 995 м с периодом около 65 с.

4.3.4. Тестирование программной системы

Покажем реализацию требований наглядности результатов в математическом эксперименте по тестированию разработанного автором пакета прикладных программ МОСТ (Массовое Обслуживание — СТационарные задачи). Известно, что любое количество правильных прогонов программы не гарантирует ее корректности. Излагаемые здесь выборочно принципы тестирования МОСТа устанавливают «единодушие» его процедур в условиях, допускающих альтернативный счет, и тем доказывают правильность их функционирования.

Процедуры расчета распределения числа заявок в системах с различным видом распределений интервалов между смежными заявками и длительностей обслуживания предполагали комбинации различных видов упомянутых распределений. В нотации Кендалла это были M — с марковским свойством (показательное), E_k — эрланговское k-го порядка, H_k — гиперэкспоненциальное k-го порядка (вероятностная смесь k показательных законов), D — детерминированное (неслучайная величина), G — общего типа (распределение непосредственно задается своими моментами). Подбор исходных данных был основан на отношениях включения упомянутых распределений: $M \subset E_k \subset \Gamma$, $M \subset H_2$. Учитывалось также, что все частные распределения могут быть аппроксимированы распределением H_2 при сохранении трех начальных мо-

ментов и распределением G с учетом произвольного числа моментов (в последнем случае распределение представляется гамма-плотностью с поправочным многочленом). Анализ этих отношений и алгоритмов расчета параметров распределений по заданным моментам приводит к следующим соображениям:

1. H-аппроксимация тестируется:

   – показательным случаем (M);

   – эрланговским E_k при $k \geq 3$ или регулярным D (проверяется работа модели с комплексными параметрами);

   – случаем Γ-распределения с показателем степени $\alpha = 1.5$ («патологический» вариант с отрицательной вещественной вероятностью).

2. E_k-аппроксимация обязательно тестируется M-вариантом и общим случаем $k > 1$.

3. G-аппроксимация тестируется на M, E и (при наличии процедуры со «взаимностью») — на D (случай малых коэффициентов вариации).

4. Все «многоканальные» процедуры должны быть проверены для числа каналов $n = 1$ и $n > 1$.

Теория построения рациональных схем взаимного тестирования модулей функционально избыточных программных систем изложена в [202]. Построенный на ее основе вариант схемы взаимного тестирования моделей разомкнутых СМО с бесприоритетным обслуживанием показан на рис. 4.3. Числа на пересечении имен модели и модуля указывают вычисляемую проверенной предварительно общей процедурой ожидаемую длину очереди — этот показатель компактен, инвариантен к масштабу времени и более чувствителен к способу расчета, чем ожидаемое число заявок *в системе*.

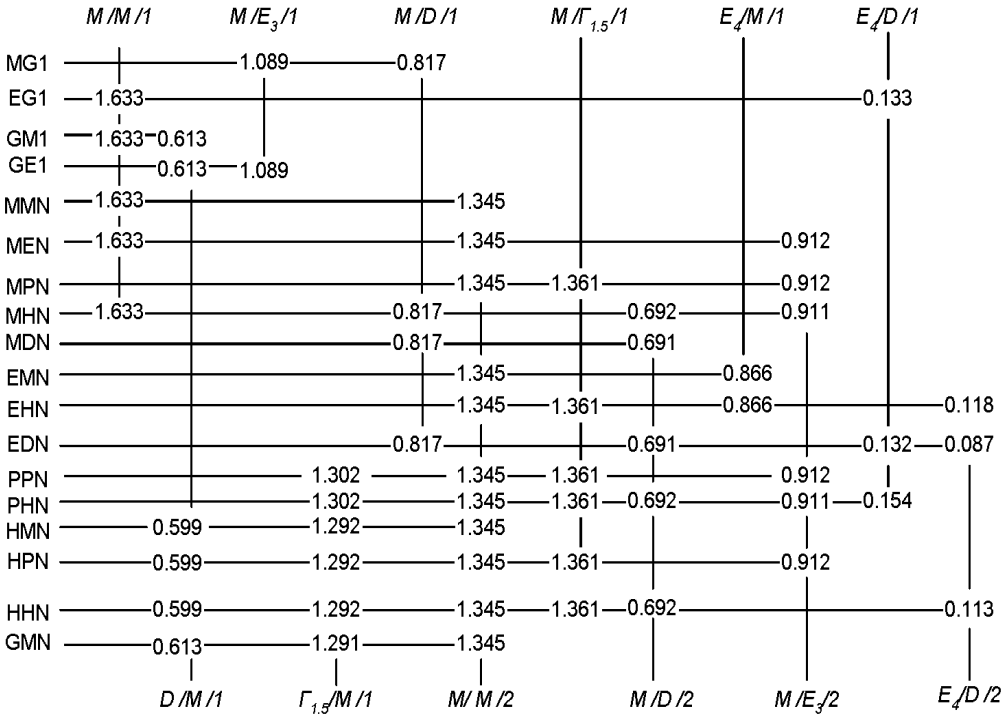

Рис. 4.3. Тестирование базовых процедур МОСТа

Задачи расчета *приоритетных* систем обслуживания удается довести только до преобразований Лапласа—Стилтьеса (ПЛС) распределения времени пребывания заявки каждого приоритета в системе:

$$\varphi(s) = \int\limits_0^\infty e^{-st}\, dF(t). \tag{4.3}$$

Разлагая экспоненту в степенной ряд и интегрируя почленно, устанавливаем связь между ПЛС и моментами распределения:

$$\varphi(s) = \sum_{i=0}^{\infty} (-s)^i f_i / i\,!. \tag{4.4}$$

Нетрудно вывести обратное соотношение:

$$f_i = (-1)^i \varphi^{(i)}(s)\Big|_{s=0}. \tag{4.5}$$

Следовательно, табулируя ПЛС и применяя к этим таблицам многократное численное дифференцирование в нуле, можно получить моменты искомых распределений и по ним построить аппроксимации распределений. В состав пакета были включены процедура DIFNEWT численного дифференцирования интерполяционной формулы Ньютона и процедура DIFSTIR дифференцирования интерполяционной формулы Стирлинга с центральными разностями.

Названные процедуры тестировались на задаче расчета моментов показательного распределения с ПЛС вида $\mu/(\mu+s)$, теоретические моменты которого $f_k = k!/\mu^k, \quad k = 1, 2, \ldots$. Приведем фрагмент распечатки результатов для последовательных производных при шаге построения таблиц $h = 0.001$:

```
*********************************************************
*              Комплексный тест процедур                *
*            численного дифференцирования               *
*********************************************************
                      Шаг =  1e-3

  Точное значение   Абс. погрешности      Отн. погрешности
 #  производной    DIFNEWT    DIFSTIR    DIFNEWT    DIFSTIR
 1 -.333333e+01  -.250e-12  -.280e-14   .750e-13   .840e-14
 2  .222222e+02  -.187e-09  -.227e-11  -.842e-12  -.379e-13
 3 -.222222e+03  -.519e-07   .596e-09   .234e-10  -.268e-12
 4  .296296e+04  -.723e-05   .123e-06  -.244e-09   .415e-11
 5 -.493827e+05  -.559e-03  -.816e-05   .113e-08   .165e-10
 6  .987654e+06  -.244e-01  -.143e-02  -.247e-08  -.144e-09
 7 -.230453e+08  -.562e+00   .286e-01   .244e-08  -.124e-08
 8  .614540e+09  -.534e+01   .460e+01  -.869e-09   .749e-09
```

Этот фрагмент свидетельствует о правильной работе обеих процедур.

Далее эксперимент был продолжен с целью выбора оптимального шага h табулирования ПЛС и длины таблицы N для каждой из формул. При выборе учитывались следующие соображения:

- допустимая относительная погрешность производной k-го порядка составляет $5k$ % (при реальных наблюдениях 5 % считаются приемлемой точностью определения среднего значения, а погрешности высших моментов нарастают);

- должно получаться не менее четырех приемлемых по точности производных;
- при использовании DIFSTIR значения ПЛС приходится вычислять по обе стороны от нуля; поэтому произведение $Nh/2$ ограничивается величиной, при которой обеспечивается сходимость интеграла $\varphi(-Nh/2)$.

Вычисления согласуются с теоретическими предположениями:

- погрешность младших производных с увеличением шага h увеличивается (по определению производной), а старших — уменьшается (при счете в ограниченной разрядной сетке разности высшего порядка получаются с бóльшим числом верных цифр);
- с увеличением длины таблицы N возрастает число производных, вычисленных с требуемой точностью.

Данный перечень приводится как пример подтверждения *достоверности* результатов исследования.

4.4. Написание основных глав

4.4.1. Общие рекомендации

Приступая к написанию (набору) рукописи, ознакомьтесь с ГОСТ:

7.3–77 — оформление авторского оригинала;

7.9–77 — составление рефератов и аннотации;

7.1–84 — библиографическое описание документа;

7.12–77 — сокращения русских слов и словосочетаний в таковых;

7.62–90 — работа автора с корректурой и корректурные знаки.

Имейте в виду, что научная публикация — это описание результатов, а не истории их получения.

Главная проблема в *написании* текста — не подбор выражений, но последовательность изложения. Будем считать, что она решена составлением подробного плана работы. Полезен также *граф* будущей работы, на который можно нанести «горизонтальные» (ссылочные) связи. Если вы не владеете навыками компьютерной подготовки рукописи,

не отдавайте печатать ее по частям. Обязательно нужно предварительно *собрать целое*, иначе неизбежно возникнут неувязки. Главы и разделы работы должны соответствовать поставленным частным задачам. Разработанный материал во всех случаях должен удовлетворять требованиям строгости, ясности и полезности.

Текст очередного раздела или подраздела надо писать, как только по нему накоплен материал, и начинать с составления и детализации его плана. Многие подсознательно оттягивают эту работу и доводят себя до «диссертационного невроза»: соискатель раздражается из-за все более лихорадочных и потому безуспешных усилий закончить работу к назначенному сроку, ищет спасения в дополнительных экспериментах, расчетах и т. п., теряет объективность в оценке результатов. В таких случаях нужно помнить, что физиологический стресс лежит в основе прогрессивного развития организма (Г. Селье), и все же заставить себя оформить выполненную часть работы.

Изложение начинайте *с главного*. Не описывайте известный аппарат (скажем, метод Ньютона для системы нелинейных уравнений, метод Рунге—Кутты для дифференциальных, стандартные подстановки). Ссылки делайте только на описания относительно новых методов. Ссылки на *учебники* впечатление от диссертации снижают.

Поскольку диссертации должны иметь минимальный объем и пишутся для подготовленного читателя, пользуйтесь семантически емкими векторно-матричными обозначениями: «Векторы сберегают мел и расходуют мозг», — говорил известный физик Дж. Томсон, он же лорд Кельвин [128, с. 42–43].

Главное в научной работе — это обоснование результатов, полученных автором. *Нужен не разговор по поводу, а сами эти результаты* в их обнаженной форме. В тексте диссертации не должно быть необоснованных «итак», «значит», «таким образом». Типичные логические ошибки (подробнее см. разд. 7.1): рассуждения от ложного основания; предвосхищение основания; подмена тезиса (формулируется широкий, а доказан узкий); избыточность доказательств; трюизмы; тавтологии.

Необходимость и уровень строгости доказательств соотносите с существом проблемы и ожидаемыми требованиями совета (по физико-математическим и техническим наукам они будут существенно различными). Акад. А. Н. Крылов писал [179, с. 20], что на инженера строгие, лишенные наглядности доказательства наводят тоску и уныние; он видит в них топтание на месте, жевание жвачки, стремление доказать очевидное, что давно им понято и что ему до доказательства кажется

более ясным и понятным, нежели после оного. В частности, доказательство существования определенного интеграла, т. е. площади, он называл «торжеством науки над здравым смыслом».

Разделяйте конструктивный (синтезирующий) и аналитический этапы написания рукописи: сначала напишите весь текст, а потом оцените его критически и займитесь совершенствованием. Постепенно сформируется взаимопроникновение этих фаз.

4.4.2. Стандартные требования к оформлению

При выполнении диссертации на стыке специальностей на титульном листе диссертации указываются шифры и наименования всех специальностей. Формулировка темы должна соответствовать требованиям директивного письма ВАК. Каждый экземпляр диссертации на титульном листе подписывается соискателем и руководителем.

Оглавление помещается в начале диссертации и входит в общую нумерацию страниц. Заголовки в оглавлении и внутри издания должны совпадать. Оглавление набирают более мелким шрифтом, чем текст.

При машинописном исполнении в строке должно быть 60 знаков (включая пробелы). При работе на ПЭВМ в текстовом процессоре *Word* применяется шрифт размером 14 pt. LaTeXнические рукописи набираются с опцией 12 pt и дополнительной спецификацией размера `large`. Абзацный отступ должен быть одинаков по всей работе (5 символов). Текст печатается через два интервала. Не допускается *частичное* впечатывание иностранных текстов и формул. При переносах нельзя отрывать инициалы от фамилий, размерности — от предшествующих чисел, разрывать конструкции типа «и т. д.». Названия газет и журналов в основном тексте указываются в кавычках, после № должна быть отбивка. Не разрешается висячее (в начале строки) тире. Чтобы исключить его из TeXнической рукописи, последнее слово предыдущей строки разбивается по `-\linebreak` (без дефиса не будет знака переноса).

Для обозначения интервалов (диапазонов) между границами предпочтительно многоточие. Скобки должны полностью охватывать обрамляемые формулы по высоте (знак корня — и по длине). «Математику» переносят (в порядке убывания предпочтения):

- на знаках отношения;
- на отточиях, плюсе и минусе;
- на косом кресте (знак умножения).

Значения символов и числовых коэффициентов поясняются непосредственно за формулой в очередности их появления после «где» (без двоеточия) и разделяются точкой с запятой. Формулы, таблицы и рисунки нумеруются в пределах главы. Ссылки на формулы, теоремы, правила нескольких авторов даются через тире без отбивок (пример — «формула Полячека—Хинчина»). При ссылках номера не сокращаются (нельзя опускать номер главы). Рисунки и таблицы должны иметь содержательные названия. Наименование рисунка печатается в одну строку с номером. Фотографии должны быть наклеены на стандартные листы. Номера таблиц размещаются справа над наименованием таблицы.

Указываемые отдельно от имен расширения файлов записываются заглавными буквами. *Комбинации* нажатых клавиш записываются по схеме [Ctrl]+[C].

Заголовки отделяются от текста сверху и снизу тремя интервалами. Номера глав и разделов обозначаются арабскими цифрами с точками. Наименование глав записывается прописными буквами, названия разделов — строчными. Сокращение слов в заголовках и подписях к рисункам и таблицам, исключая общепринятые, не разрешается. Перенос слов в заголовках не допускается.

4.4.3. Содержание основных глав

В *первую* главу обычно включаются:

1) технико-экономическое (военно-техническое) обоснование актуальности проблемы — анализируются обстановка, условия, методы применения систем и процессов рассматриваемого класса, соображения эффективности; выявляется слабое звено;

2) формулировка цели и анализ известных методов ее достижения (обзор альтернатив; выбор одной из них, их комбинаций или поиск новых подходов). Основную часть этого раздела составляет *аналитический* обзор литературы и деятельности известных соискателю организаций и лиц, работающих в обсуждаемом направлении;

3) постановка основной задачи исследований (теоретические и практические концепции нового способа достижения цели).

Применительно к работам «аппаратной» направленности первую главу можно сопоставить с этапом внешнего проектирования. Здесь разрабатывается концептуальная модель («облик») системы — ее организация и

системно-агрегативные свойства, наилучшим образом соответствующие ее задачам.

Вторая глава диссертации по традиции отводится под *теоретические основы* работы в целом (в докторской диссертации, а также в кандидатской работе, выполненной на стыке наук, таких глав может быть несколько). Здесь проводятся поисковые и фундаментальные исследования: углубление знаний, освещение полезных для достижения цели успехов смежных наук, комплексирование знаний на стыках. Рекомендуется сначала попытаться решить задачу самому, ничего не зная о том, как ее пробовали решить другие. Сделав первые качественные оценки порядков величин и предположив направление поисков, вы будете уже совсем по-другому читать литературу — активно, прикидывая тут же, как действовать дальше. Попутно выясняется, как могут ограничить или подсказать область возможных решений общие принципы предметной области, законы сохранения и симметрии.

Далее можно попробовать найти грубое качественное решение задачи при разных параметрах и количественное решение — в предельных случаях, когда задача упрощается. Предварительно нужно установить, чем можно пренебречь.

Третья глава (глав этого типа опять же может быть несколько) посвящается детальной разработке *частных* задач:

- оценка альтернативных подходов;
- предлагаемые численные методы решения задачи и основанный на результатах второй главы математический аппарат;
- вычислительные схемы;
- начальные и граничные условия;
- начальные приближения;
- доказательства сходимости итерационных процессов, оценки скорости сходимости, улучшение сходимости;
- тестирование программ применительно к абстрактным моделям;
- оценки погрешности и затрат по памяти и трудоемкости, и т. п.

В диссертациях «железной» (аппаратной) направленности в этой главе излагаются новые конструкторские (схемотехнические, технологические,

организационные, методические) предложения, сделанные опять же на основе второй главы, и методы *расчета* процессов и устройств.

Последняя глава содержит результаты натурных (модельных, вычислительных) экспериментов, опытной эксплуатации, войсковых учений, применения в учебном процессе и т. п. Здесь должны быть *количественно* показаны значимые преимущества предложений соискателя перед ранее известными методами решения аналогичных задач.

4.4.4. Структуризация текста

Под структуризацией текста понимаются продуманность его логической структуры и целенаправленность. Метафора В. Гюго [134, с. 160], сопоставлявшего *книгу* и *собор*, дает основание говорить об *архитектуре* диссертации. Поскольку научные рассуждения редко обладают незатейливой линейностью, задача «архитектора» отнюдь не тривиальна. В частности, всегда возникает проблема выбора *единственного* места для материала, интересного с разных точек зрения. Свой замысел «архитектор» далее реализует согласно составленному плану. *План дисциплинирует мысль, позволяет избежать повторов и провалов.*

Рубриками называют заголовки частей издания (главы, параграфы и т. п.), а также сами выделенные заголовками части. Рубрикация материала компенсирует переключения и разрывы мыслей. Разделы для обеспечения взаимных ссылок следует нумеровать. В соотношении частей сочинения, надлежащих пропорциях между главами и разделами должна быть соблюдена достаточная стройность. Заголовки:

1. Организуют, направляют и облегчают чтение:
   - прерывая текст, заставляют читателя невольно остановиться перед тем, как приступить к чтению нового раздела; благодаря этому они подталкивают к осмыслению прочитанного, представляющего собой относительно законченное целое;
   - предупреждая о следующей теме, готовят к ее восприятию;
   - создают условия для чтения выборочного.
2. Углубляют понимание произведения, так как наглядно раскрывают его иерархическое строение.
3. Облегчают поиск нужного материала.

Заголовки не центруются.

Если текст не соответствует заголовку, заголовок входит в содержание другого на том же уровне или не входит в содержание старшего, то необходима корректировка рубрикации.

Десятичная нумерация перед каждым тематическим заголовком ставит номер и — перед ним — номера всех заголовков, которым он подчинен. Этот вид нумерации увеличивает различимость заголовков разных ступеней, уменьшает правку при перенумерации, облегчает взаимные ссылки. При наличии *подразделов* их должно быть не менее двух. Должно быть соблюдено правило логической непрерывности деления. Оформление заголовков (шрифт и кегль) должно соответствовать их значимости. После текстового заголовка (даже если он состоит из двух предложений) точка не нужна. Она ставится, однако, если заголовок дан в подбор с текстом. Если предстоит верстка (переверстка), что при написании диссертаций неизбежно, ссылки на рубрики предпочтительнее ссылок на страницы издания.

Каждый раздел пишется по схеме «план → расширенный план → тезисы → полный текст» (с оперативной коррекцией предыдущих звеньев). Так писал, в частности, Ч. Дарвин [49, с. 155]. Это обеспечивает реализацию общего плана работы и гарантирует:

- включение всего того и только того, что нужно;
- связность и аргументированность изложения;
- соответствие объема разделов их значимости.

В качестве контрпримера отметим, что в работе по транспортным потокам и их влиянию на окружающую среду [130, с. 514] приведена таблица динамики потребления спиртных напитков на душу населения России (рост за 50 лет — в 7.5 раза). Данные, разумеется, прискорбные (*Лучше водки хуже нет*! — В. С. Черномырдин), но неуместные по контексту. Их помещение было бы оправдано, если связать это зло с частотой дорожно-транспортных происшествий и задержками движения, но в книге данный эффект почему-то не обсуждается.

Любой заголовок должен правильно отражать содержание соответствующего раздела. При изложении основной (теоретической) части работы придерживайтесь следующих правил:

1. Начинайте каждый раздел (подраздел) с указания на *локальную цель* рассуждений и ее место в иерархии целей работы.

2. Прежде всего кратко формулируйте основную идею — ее нельзя заменить подробностями «россыпью».

3. При разборе вариантов решения задачи четко определяйте специфику каждого из них; сравнивайте их для критических условий.

4. Четко отделяйте известные результаты от *ваших собственных* предложений — в квалификационной работе это обязательно.

5. Помните, что диссертация адресована *узкому специалисту*, а потому сводите обзорные рассуждения к минимуму, обеспечивающему связность изложения.

6. Доказывайте *корректность* ваших предложений с помощью теоретических (логических и математических — по возможности) и экспериментальных (в частности, полученных на ЭВМ) доказательств совпадения результатов способами, перечисленными в разд. 1.5.3.

7. Покажите их *эффективность* демонстрацией возможностей:

   – решения задач нового класса или учета новых факторов;

   – увеличения размера решаемых задач при ограниченных ресурсах (благодаря ускорению сходимости итераций, улучшению начальных приближений, уплотнению исходной и промежуточной информации и т. п.);

   – практически значимого повышения точности;

   – дополнительного выигрыша в значении целевой функции (показателя надежности, оперативности, энергосбережения, помехозащищенности, экономичности и др.).

8. Нумеруйте только те формулы, на которые необходимы ссылки.

9. Делайте различие между выводами и результатами. Выводы — это то, что *следует* из результатов соответствующей главы. Важнейшие результаты суммируются в *заключении*.

Требование *логичности* должно отражаться как в последовательности, так и в группировке материала. Типичное нарушение его — смешение принципов классификации и группировки. Пример ошибки последнего вида:

ПЭВМ применяются в делопроизводстве, обработке текстов, издательской технологии, работе с электронными таблицами, для выполнения расчетов, построения графиков и диаграмм, в военном деле.

Здесь переплетаются три принципа классификации: по области приложений (делопроизводство, издательская технология, военное дело); по характеру применения (обработка текстов, выполнение расчетов, построение графиков и диаграмм); по виду программных средств (электронные таблицы). Каждая классификация далеко не исчерпывает возможные варианты, а первая группа могла бы быть подвергнута дальнейшей «ортогонализации»: ведь делопроизводство существует и в издательствах, и в военных организациях.

Мешают восприятию текста его перегруженность выкладками, длинные фразы и усложненный синтаксис. Остро негативную реакцию читателя вызывают тривиальность или необоснованность выводов (см. примеры в разд. 4.5.1).

4.4.5. Абзацы

Предложения текста, формулирующие и развивающие одну мысль, объединяются в *абзац*. Логическая целостность, присущая абзацу, облегчает восприятие текста. Группа абзацев, тесно связанных между собой по смыслу, отделяется от остального текста пробельными строками. Еще более крупные фрагменты текста выделяются заголовками, набранными жирным шрифтом в подбор. Такие заголовки в оглавление работы не входят.

4.4.6. Перечни

Перечень *в целом* должен соответствовать обсуждавшимся выше общим принципам классификации. Элементы перечней должны быть синтаксически однотипны и грамматически согласованы с вводной фразой. Эту фразу нельзя обрывать на предлогах или союзах. Перечни могут быть нумерованными, что облегчает ссылки на отдельные их пункты, и ненумерованными. Возможно, но нежелательно применение вложенных перечней как одинакового, так и различных типов. Частным случаем нумерованных перечней является *перечисление*: здесь «ключами» отдельных групп являются их имена, выделяемые жирным шрифтом. Любые перечни набираются с дополнительным абзацным отступом.

В порядок следования элементов перечислений всегда должна закладываться некоторая логика. Контрпример из [129]:

Технологический уровень производства не позволяет достичь требуемой точности сборки и обработки деталей.

Поскольку обработка деталей предшествует сборке, она должна упоминаться раньше.

Пример из руководства по методологии научной работы [22, с. 77] иллюстрирует недопустимое пересечение элементов:

В научной работе инженерных вузов особенно часто применяются такие методы прикладной математики, как статистические методы планирования эксперимента, методы компьютерного моделирования, теории вероятностей и математической статистики.

Компьютерное моделирование — это не только прикладная математика; оно (и не только оно) включает в себя математическую статистику; планирование эксперимента является разделом последней.

И еще пример — из учебного пособия по философии [244, с. 118]:

Различают величины скалярные, векторные, тензоры, бесконечно малые и др. Числа дифференцируются на натуральные, рациональные, вещественные, комплексные, гиперкомплексные, кватернионы и т. д.

Первая часть фразы содержит смешение принципов классификации величин. Во второй — не выдержаны иерархия и парность понятий; не указаны основания деления; перечень неполон (нет положительных, отрицательных и иррациональных). Кватернионы — частный случай гиперкомплексных чисел. Основное значение термина «дифференцирование» применительно к числам бессмысленно; следовало сказать «бывают».

4.4.7. Авторство

Текст пишется в подчеркнуто объективной (безличной) манере: «получена оценка», «был предложен подход...», «автор полагает...» Из местоимений первого лица используется только «мы». Этим неявно демонстрируются скромность диссертанта, принадлежность его к научному коллективу или школе, участие руководителя. «Мы» подсознательно воспринимается читателем как приглашение присоединиться к ходу рассуждений и в какой-то степени обеспечивает его сочувствие.

При написании диссертации соискатель обязан ссылаться на автора и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов. При использовании в диссертации идей или разработок, принадлежащих соавторам, соискатель обязан отметить это обстоятельство в диссертации и указать свой личный вклад.

Поскольку диссертация является квалификационной работой, все элементы новизны в ней должны быть четко оговорены. Опасения в связи с этим быть обвиненным в нескромности не должны вас беспокоить. Однако *оценивать* свои результаты нужно сдержанно. Если вы совершили переворот в науке или технике, оппоненты и совет заметят это сами. Акад. И. Е. Тамм в отзыве на докторскую диссертацию А. Д. Сахарова написал, что представленные в ней результаты соответствуют уровню действительного члена Академии Наук. В том же году А. Д. Сахаров был избран (*не только за диссертацию*) академиком.

4.4.8. Диссертация и ее предшественники

Написание докторской диссертации обычно предваряется публикацией учебников, учебных пособий и монографий. Соискатель обязан учитывать различие между этими видами изданий.

Учебник должен быть официально утвержден в качестве данного вида издания. В нем с максимально возможной простотой излагаются *основы* некоторой дисциплины. Стандартные требования к учебнику: соответствие уровню подготовки обучаемых; преемственность; обеспечение междисциплинарных связей. В нем не место подробному описанию истории вопроса; сопоставлению многих аспектов и точек зрения; предельно общим постановкам задач и, напротив, сугубо частным случаям; длинным, но стандартным по сути выкладкам; многим математическим тонкостям. Несущественно и авторство результатов. Подчеркнем, однако, что учебник — это не справочник. Он по определению должен учить *технологии получения новых знаний*, в частности — логическому выводу и технике математических преобразований.

Учебное пособие пишется в том же стиле. Оно частично или полностью заменяет учебник, может дополнять и углублять его в отдельных направлениях.

Монография — это исчерпывающее изложение современного состояния некоторой (как правило, узкой) проблемы. Основной целью ее является интеграция в некоторую область знания новых результатов и/или переосмысление ранее полученных. Здесь указания на авторство

основных положений необходимы. Моральное право писать монографии имеют ученые, внесшие заметный личный вклад в развитие соответствующей отрасли знаний или техники. Однако научная этика не рекомендует этот вклад выпячивать ни по форме, ни по содержанию (изложение должно быть «равномерным» по значимости и подробности результатов). Научная монография может быть непосредственно представлена к защите при условии, что она:

- содержит полученные лично соискателем новые научные результаты, в совокупности удовлетворяющие требованиям к диссертации;
- написана без соавторов.

Желание соискателя использовать опубликованные им материалы в рукописи *диссертации* естественно; однако это возможно только *после глубокой переработки их по форме*, определяемой специфическими требованиями к квалификационным работам:

- минимум известного материала;
- *аналитический* характер обзорных частей;
- четкое выделение *личного* вклада в постановку задач, развитие методов их решения, собственно решение, интерпретацию и внедрение результатов;
- объективная оценка этого вклада по его новизне, трудоемкости, нетривиальности и полезности.

4.4.9. Терминология

Понятийную основу любой науки составляет сложная сеть имен вещей, имен идей и имен имен. Она эволюционирует сама и меняется ее проекция на реальность. Удачные имена — мост между научным знанием и здравым смыслом, новым опытом и старыми привычками. Они сразу делают доступными интуиции целые области фактов, до того остававшихся за ее пределами [134, с. 75].

Научные выводы можно сделать только на основе правильной классификации, абстрагирования, укрупнения, точного употребления терминов. Совершенно непростительно, например,

- называть *индуктивным* последовательное деление сторон квадрата пополам [130, с. 95];

- считать нечеткие знания знаниями без понимания [171, с. 10], а адекватность — тождественностью [там же, с. 15];
- отождествлять эндогенные и внутренние свойства (первый термин указывает локализацию *причины*, а второй — самого свойства) [там же, с. 10].

По возможности выбирайте определения и термины из ГОСТов, словарей, энциклопедий, учебников, монографий и не отходите от них без надобности, хотя не все эти определения удачны, особенно в специфических контекстах. Кстати, само слово «термин» произошло от латинского «конец» или «граница». Этот оттенок легко улавливается, если переставить ударение в слове «определить».

При острой необходимости вводите собственные термины, здесь же разъясняя их. Избегайте противоестественной гибридизации русских и иностранных слов типа «десиженсный»: в данном случае вполне подошло бы «решающий»; в других можно использовать приблизительно подходящие термины, заключая их в кавычки при первом употреблении. Учитесь — с поправкой на современность — у Г. Р. Державина, переводившего «фортепиано» как «тихогром»!

При использовании чужих определений сделайте необходимые ссылки. Будьте, однако, готовы пострадать за чужие ошибки — *диссертант в ответе за каждую букву своей работы*, в том числе за некритические заимствования. Следите за четкостью собственных определений и терминов. В книге [222] обсуждаются способы формирования терминов и предлагается, в частности, учитывать терминологическое поле (к примеру, «функция» — в разных науках разная). Будьте аккуратнее с дериватами от фамилий: «декартовое» произведение — это вопиющая неграмотность.

Использовать термины, производные от *собственной* фамилии (типа «метод Флойда», «реакция Вассермана»), автор не вправе.

К часто предъявляемому требованию «Все это необходимо согласовать с официальными документами: стандартами, уставами, наставлениями, руководствами» относитесь с внешним уважением, однако при наличии серьезных контраргументов «не держитесь устава яко слепой стены»: если всегда согласовывать науку с руководящими указаниями, то бесславно умрут и наука, и практика.

4.4.10. Формулировки

При написании текста и в особенности при его редактировании будьте предельно внимательны к каждому слову. Известно, какую большую роль

играет точность языка в юридических документах. А ведь диссертация в определенном смысле и является таковым!

Приводимые ниже примеры свидетельствуют не столько о непонимании их авторами существа обсуждаемых проблем, сколько о безответственности или изящном легкомыслии. Они воспринимаются как явные ошибки даже при беглом чтении.

1. *Под системой понимается совокупность элементов, взаимодействие между которыми адекватно однозначному результату.*

   «Бессмыслица — однозначно!» — сказал бы В. В. Жириновский.

2. *Передняя часть столешницы может иметь выступ для корпуса оператора.*

   С *выемкой* оператору будет гораздо удобнее. Кстати, «корпус» в этом контексте воспринимается как неприятный техницизм.

3. *Нерациональные функции...*

   Функции могут быть рациональными и иррациональными. Нерациональным бывает решение или поведение.

4. *В древнем Китае в это время уже был создан компас и определено магнитное склонение Земли.*

   Магнитное склонение есть угол между направлениями на географический и магнитный полюса в данной точке земной поверхности. Для Земли в целом это понятие не имеет смысла.

5. *Стоило только капитализму превратить пролетариев западного мира в рабочих путем перераспределения доходов, как «могильщик» канул в лета.*

   Не в лета, а в Лету (река забвения)!

6. *Видимо, царь Соломон допустил просчет — не той печатью запечатал бутылку с джином.*

   В бутылке был не джин (можжевеловая водка), а джиНН — злой дух!

7. *Длительность клинической смерти составляет 4–8 минут.*

   Такая декларация требует комментария и развития. Принято считать, что смерть — это надолго.

8. *А с кодом 010 сразу все ясно. Как им ни верти, а всегда получается любимая курсантами «пятерочка».*

   Этот код соответствует нелюбимому курсантами «гусю» (двойке). Двоичный код «пятерочки» есть 101.

9. *Необходимо внести некоторую ясность в однозначное понимание указанного термина.*

   «Однозначное понимание» внесения ясности, к тому же «некоторой», не требует.

10. *Осталось для завершения построения конкретного модельного базиса исследования корректности производства выбрать (или найти) самое главное.*

    Наверное, в любом деле надо *начинать* с главного.

11. *В пределе абсолютная надежность программы может быть достигнута либо при полном отсутствии всех типов ошибок, либо при абсолютной нечувствительности к ним.*

    Очень глубокая мысль! И, главное, конструктивная!

12. *Наиболее оптимальная топология.*

    Стандартная ошибка. Оптимальный — это уже наилучший!

13. *Решение многокритериальной задачи выбора заменим решением однокритериальной сатисфакционной задачи.*

    На каком основании? Никаких аргументов. А ведь вторая задача имеет гораздо меньшую практическую ценность!

14. *Показателем совершенствования системы управления является ее погрешность.*

    Здесь сразу три ошибки: говорится о разработке вместо результата; о системе управления вместо управляемого процесса; изменен знак. Следовало говорить о *показателе несовершенства управления.*

15. *Допущение о пуассоновских потоках позволяет получить завышенные вероятностно-временны́е характеристики.*

    Во-первых, хорошо это или плохо? Во-вторых, что значит «завышенные»? Если среднее время пребывания заявки в системе возрастает, то работа системы улучшается? В-третьих, по отношению к чему? А если исходные потоки имеют распределение интервалов между

заявками с коэффициентом вариации, бóльшим единицы? Ведь тогда знак ошибки изменится на противоположный!

16. *Зависимость между валовым национальным продуктом P и роадизацией L дорог с твердым покрытием (км на миллион человек) для США имеет вид $P = 1.39 \cdot 10^{-6} L$.*

    Термин «роадизация» — явное насилие над русским языком. Фраза неграмотна и заставляет гадать, что имеется в виду: строительство новых дорог или асфальтирование существующих.

17. *Моторизация территории, характеризующая транспортную доступность и измеряющаяся в количестве км дорог на кв. км территории, в мире неравномерна.*

    Термин «моторизация» явно должен измеряться относительным числом моторов или их мощностью. Цитированное определение скорее подошло бы к вышеупомянутой «роадизации». Позже авторы [129] сами переопределяют моторизацию как отношение количества транспортных средств к площади территории.

18. *На Всероссийской выставке молочного скота одним из победителей стал племенной козел по кличке Василий Иванович* — «СПб. Ведомости», 28.12.2002.

    Этот тезис противоречит общеизвестной невозможности получения от козла молока.

19. *В качестве примеров совершенствования методов математического программирования можно привести замену языка Алгол-60 на любой современный язык.*

    Не следует путать математическое программирование (методы оптимизации) с описанием таковых на языках программирования.

20. *А были бы эти результаты, если бы у спортсменов не было еще и первоклассных тренеров, тренировочной базы, отличного питания, хорошей амуниции и т. п., т. е. всего того, что образует методику тренировок?*

    «Все то», а также методика тренировок, суть компоненты *тренировочного процесса*. Отличное питание не может входить в *методику* тренировок (разве что по скоростному поеданию пищи).

21. *Наиболее эффективные полупроводниковые излучатели созданы на принципах когерентного излучения путем формирования*

вынужденного излучения путем создания инверсной заселенности энергетических уровней зоны проводимости путем накачки электронов с помощью тока, пропускаемого через p-n переход.

С таким каскадом «путей» ничего путного не получится.

22. *Потерять возможность получать эти блага в будущем за счет действий источника опасности.*

Трудно рассчитывать на получение благ от источника опасности.

4.4.11. Математические зависимости

Текст диссертации обычно предваряется расшифровкой обозначений, в том числе математических. Расшифровке подлежат обозначения, введенные автором. Нет необходимости пояснять, что означает знак «=» ([172, с. 465]). Обозначения должны быть максимально простыми и по возможности согласованными с установившимися. К примеру, в [172, с. 466] вводится $B^T_{[m,n]} = \|b^T_{ij}\|^m_n$ — транспонированная матрица для $B_{[m,n]}$. Знаки $\|\cdot\|$, как правило, применяются для обозначения *нормы* матрицы. Применение символа транспонирования ^{T} к *отдельным* элементам матрицы бессмысленно. Вряд ли необходимо постоянное сопровождение ссылки на матрицу указанием ее размеров — здесь лучше положиться на контекст. Определение Г-функции

$$\Gamma(\alpha+1) = \int\limits_0^1 t^\alpha e^{-t}\,dt$$

дано с ошибкой в верхнем пределе (должна быть ∞).

К сожалению, открытие дисциплины с новым названием «Логистика» было воспринято экономистами как Клондайк, куда устремилось множество недостаточно требовательных к себе авторов. Даже беглый просмотр новой экономической литературы (например, [149]) вынуждает обратить внимание на совершенно непростительные «ляпы» — экономические и математические. Сравниваются методы ABC и XYZ (с. 117) — группировки номенклатур по *разным* основаниям (стоимостному спросу и достоверности данных), так что их сопоставление не имеет смысла. Понятие «критерии» используется вместо «показателей» — с. 67, 68, 73—74, 84–86, 308. На с. 281 предлагается «в случае нескольких ограничений использовать методы многокритериальной оптимизации» — это совершенно разные задачи!

Имеет место слишком вольное обращение с теорией вероятностей. На с. 69 утверждается, что «могут быть использованы плотности распределения вероятностей, в частности, закон Пуассона» — распределение Пуассона *дискретно* и плотности не имеет! На с. 109 в формуле для среднеквадратического отклонения вынесено из-под корня деление на N (кстати, должно быть $N-1$). В таблице на с. 130 неправильно указаны ограничения на коэффициенты вариации: первые три распределения допускают *любые* их значения!

В [127, с. 176] «ценный вклад» внесен в теорию надежности: «Сложность — враг надежности ввиду повышения вероятности выхода из строя компонентов... Такая закономерность позволяет производить расчеты, складывая «надежности» отдельных компонентов». Этак можно получить надежность (точнее, вероятность безотказной работы) много больше единицы! На самом деле при малых *ненадежностях* их нужно складывать, а затем вычесть сумму из единицы!

4.4.12. Размерности и числовые данные

Грубейшее нарушение размерности содержит тезис «Шар с бесконечно большим радиусом имеет нулевую кривизну и не отличается от прямой линии». Нулевую кривизну имеет *поверхность* упомянутого шара, которую следует уподобить *плоскости*.

Необходимо чрезвычайно внимательное отношение к сообщаемым цифровым данным и использованию единиц измерения. В [116, с. 348–351] приводится разбор А. Н. Крыловым книги «Бэр на Каспии», где объем Каспийского моря был занижен в миллиард раз (кубометры вместо кубокилометров), предельный размер белуги указан 17 м вместо 17 футов, говорится о судах «длиной в 20 сажен и шириной в 100», и т. д. В. И. Арнольд [12, с. 9] вспоминает старую статью в ДАН СССР (!!!) «О фонтанирующей деятельности кита», где при вычислении цилиндрического объема кита использовалась «константа π, которая для гренландских китов равна трем». В [191, с. 164] приводится сообщение о больном, температура которого была 100° (автор забыл указать «по Фаренгейту», что соответствовало 37.7° по Цельсию).

В [130, с. 9] сообщается, что «масса человечества возросла от $2.75 \cdot 10^6$ чел. в 1000 г. до $6 \cdot 10^9$ в 2000 г.». Но ведь масса и численность населения имеют разные единицы измерения! Там же на с. 356 приводятся окна меню программного продукта для управления автомобильным движением. При этом длина участка задается в

метрах, скорость движения — в км/час, длина транспортного средства в дециметрах. В той же книге на с. 20 заявлено, что «в конце двадцатого *тысячелетия* (курсив мой. — *Ю. Р.*) среди наиболее острых общечеловеческих проблем на первый план выдвигаются экологические, порожденные колоссальными научно-техническими достижениями человечества». Оказывается, можно споткнуться буквально на ровном месте: кончился-то двадцатый *век*! И вряд ли правильно считать единственной причиной экологического кризиса научно-технические достижения. Наконец, в связи с экологическими проблемами Москвы сообщается [130, с. 450], что «3 млн т бытовых отходов — это 15 млн контейнеров, стоящих во дворах». По два *стоя́щих* (а не заполняемых за год!) на каждого москвича — не много ли?

В [14, с. 132] заявлено, что «водка — это другой вид энергии и измеряется не в килограммах, а в пол-литрах»[4]. Если говорить всерьез, то никакая энергия ни литрами, ни килограммами не измеряется. Согласно тому же источнику (с. 225), «американцы думали, что на Кубе 10000 тысяч воинов, а их было в 10 раз больше». Ста миллионов «совьетико» там никак не могло быть! И еще одна цитата из [14, с. 140]: «А подобные "братки" очень любили кровушкой побаловаться. Да и шампанским по 2000 & за бутылку — тоже». Насколько известно автору, еще никто не расплачивался амперсандами!

К этому же ряду можно отнести сообщение [137, с. 129] об открытии *Галилеем* планеты Нептун в соответствии с теоретическим предсказанием Адамса и Леверрье. Ведь Галилей умер в 1642 г., а Нептун был открыт на 200 лет позже.

Иногда простой констатации факта недостаточно. Например, заявление, что *время переключения достигает десятков нс*, можно понимать двояко: как признание успеха и сожаление о недостаточном быстродействии.

В заключение приведем относящиеся к данному разделу издательские требования. После млн, млрд и сокращенных наименований физических величин точка не ставится. Обозначения физических единиц нельзя отрывать от числового значения (переносить). Размерности объемов памяти ЭВМ «Кбайт», «Мбайт» пишутся без «ов».

---

[4]В известном «Аквариуме» В. Суворова имеется пример измерения выпитого в килограммах («полкило»).

4.4.13. Цитирование

В Средние века (а в России — и в Новое время) учащихся приучали смотреть на все глазами авторитетов, отступление от взглядов которых оценивалось как ересь. Как отмечает В. А. Садовничий [217, с. 97], история появления литературных ссылок относится именно к этому времени.

К счастью, времена, когда «за неимением довода приводили цитату» (Гельвеций, т. 1, с. 84), канули в Лету. Однако *в сочетании с доводами* их использование остается актуальным. Цитаты подчеркивают точность воспроизведения соискателем мыслей предшественников и научных оппонентов. Основные критерии отбора цитат — оригинальность и смысловая значимость. Вряд ли оправдана в любом контексте, кроме критического, цитата: *«Таким образом, если на выходе системы научного предвидения мы имеем сам прогноз, то вход ее — это прежде всего научная теория», — говорят болгарские ученые* [183, с. 50]. Чтобы додуматься до этой «мысли», не надо быть ни ученым, ни даже болгарином. К тому же, на вход не вредно подать и исходные данные.

Избыточное цитирование создает впечатление компилятивности работы (заметим, что понятие «нормы» весьма подвижно и зависит от области науки и широты темы диссертации), недостаточное — верхоглядства, неумения или нежелания работать с литературой, а также преувеличенной претензии на новаторство. Цитировать надо тех, кто имел приоритет в данном вопросе и сделал что-то новое, а также авторов оспариваемых утверждений. Фамилии цитируемых авторов, исключая общеизвестные, следует давать (или дублировать) на языке оригинала.

Допустимы изменения падежей цитируемых словосочетаний для согласования с синтаксическим строем вводящей цитату фразы, а также обозначаемые многоточиями пропуски несущественных в данном контексте частей цитаты. Текстовые выделения (курсив, разрядка) и пояснения, сделанные соискателем, немедленно оговариваются и сопровождаются его инициалами. Способы введения цитат в основной текст описаны в [117, с. 164–165]. Если диссертант хочет подчеркнуть важность цитаты, после нее ставится (!), если тезис сомнителен или отрицается — (?). При необходимости в усилении эмоций эти знаки могут быть удвоены, утроены или использованы в комбинации. Сокращать цитату можно лишь при условии сохранения ее смысла. Место купюры указывается многоточием. Кавычки, отграничивающие цитату, ставят только в начале и в конце ее. Внутренние кавычки, если они имеются, должны быть другого рисунка.

Библиографическая ссылка при цитировании предпочтительна на первоисточник и с указанием страницы. «Косвенное» цитирование

допустимо при труднодоступности первоисточника. Тогда следует записать «Цит. по [...]». Указания типа «курсив мой — *Ю. Р.*» помещаются после закрытия цитаты.

Цитирование, критика и даже одобрение соратников по науке не должны выходить за рамки научной этики. В качестве редкого контрпримера приведем цитату из Н. М. Луценко [46, с. 468]:

> «Наиболее последовательное развитие научной мысли Вернадского нашло в ноосферизме А. И. Субетто, профессора, доктора философских наук, доктора экономических наук, кандидата технических наук, вице-президента Петровской академии наук и искусств. В этом ученом синтезировалась та структура наук, на которую указывал В. Вернадский, рассматривая структуру ноосферы: "Науки о биосфере и ее объектах, т. е. все науки гуманитарные без исключения. Науки естественные в собственном смысле слова (ботаника, зоология, геология, минералогия и т. п.), все науки технические — прикладные науки в широком их понимании — являются областями знания, которые максимально доступны научному мышлению человека" ».

Автор много лет лично знаком с А. И. Субетто *как с кандидатом технических наук* и с интересом наблюдает его многостороннюю деятельность, но здесь имеет место явный перебор. В таких выражениях можно писать разве что о Леонардо да Винчи. В той же книге [46, с. 308] встречается перечень классиков «...По В. Вернадскому, Т. де Шардену и А. И. Субетто» — на наш взгляд, один из патронов этой обоймы явно не того калибра! Кстати, почему-то Субетто упоминается с двумя инициалами, а Вернадский — с одним. Сам же А. И. Субетто позволяет себе воззвания в стиле библейского пророка [46, с. 64]:

> «Мы подчеркиваем и в своих работах предупреждаем людей: началась рыночно-капиталистическая гибель человечества по экологическим основаниям».

Использование чужих материалов без ссылки на автора и источник заимствования может повлечь снятие диссертации без права повторной защиты. В первой половине 1976 г. ВАК отказал в присуждении ученой степени 26 соискателям, в работах которых был обнаружен плагиат [95, с. 29]. Плагиат является основанием и для уголовного преследования.

Автор диссертации несет ответственность перед научной общественностью за *сохранение смысла* цитаты, который легко исказить уже ее краткостью и отрывом от контекста.

При *пересказе* сущность цитаты можно совместить с ее критической оценкой и комментарием. На этом экономится место.

4.4.14. Сокращения

Сокращения (аббревиатуры) нужно использовать аккуратно. Несколько отрицательных примеров:

- *ГСМ — гиперсетевое моделирование* — у непредубежденного читателя ассоциируется с горюче-смазочными материалами.
- *Автоматизация ППР...*

  ППР (у автора диссертации — процесс принятия решений) семьдесят лет расшифровывалось как партполитработа, и на этом варианте воспитывались все члены совета.
- *РЛС как расчетно-логическая система.*

  Это сокращение прочно занято под радиолокационную станцию.
- *УВД — управление воздушным движением* — будет гарантированно восприниматься как Управление внутренних дел.

В [130, с. 13] введены аббревиатуры: АТС — автотранспортное средство; ОС — окружающая среда. Разумеется, авторы вправе применять любые сокращения, соответственно их оговорив, но злоупотреблять этим правом не стоит. Большинство читателей воспримет АТС как автоматическую телефонную станцию, а ОС — как операционную систему.

Надо заботиться и о благозвучии сокращений. Один из аспирантов автора представил реферат по технике имитационного моделирования, в котором активно использовал аббревиатуру МУД (методы уменьшения дисперсии). В ответ на естественный вопрос: «Как нас с тобой будут теперь называть?» он согласился обсуждать методы *понижения* дисперсии — МПД. В [171, с. 7] используются аббревиатуры ЛОМ — логичное мышление, КОПР (напоминание о копрофагах) — концептуальное проектирование, ПРО-ТЕЗ — проблемный тезаурус.

Каждая вновь вводимая аббревиатура разъясняется сразу после первого употребления ее. При большом числе аббревиатур в начало диссертации помещается их алфавитный список. Сокращения нельзя использовать в заголовках.

Дополнительные сведения о сокращениях см. в [139].

4.4.15. Таблицы и рисунки

Общими требованиями к таблицам и рисункам являются их содержательность и функциональность. Иначе говоря, они должны с максимальной наглядностью иллюстрировать актуальность работы, ее суть и полезность. Графа с порядковым номером строки в таблицу не включается. Графы таблицы, содержимое которых подлежит сравнению, должны по возможности находиться рядом.

Если рисунки в диссертации и на плакатах показывают эффект *качественно*, то допустимы его преувеличения. Разумеется, это нужно оговорить и снять оцифровку графиков.

Соискатель должен обосновать включение в работу каждой схемы, графика и таблицы с одной из вышеперечисленных позиций. Эти материалы не должны дублировать текст, а таблицы и графики — друг друга. При графическом представлении материалов, полученных в физическом эксперименте, необходимо отметить точками наблюденные значения. Желательно графическое же представление погрешностей (`errorbars` — см. разд. 6.11.5). При прочих равных условиях предпочтительны наглядные формы иллюстративного материала. Количество надписей и пояснений непосредственно на графиках и диаграммах должно быть минимально. Словесный комментарий к таблицам и рисункам должен не пересказывать их содержание («Что вижу, о том пою»), но объяснять, *что из них следует*.

Смысловые и формальные требования издательских стандартов с многочисленными примерами положительного и критического свойства приводятся в справочниках авторов книги [73, 146, 147, 223] и руководствах по оформлению диссертаций [19, 117, 139].

Стандарты на изображение структурных схем алгоритмов общедоступны. Однако в уже цитированной книге [149] схемы алгоритмов приводятся без начала и конца, с блоками без входов, неверным изображением разветвлений и альтернатив, нестандартным изображением блоков.

4.5. Вспомогательные разделы

4.5.1. Выводы и Заключение

Каждая глава должна заканчиваться краткими *выводами*, которые следуют из ее содержания. По Б. П. Вейнбергу [31, с. 27], «вывод — это как бы концентрация и без того близкого к насыщенности раствора и выделение из полученного агломерата кристаллов наиболее крупных

и ценных экземпляров». *Выводы не следует путать с полученными результатами.*

Выводы могут отражать:

- общетеоретическое заключение, подтверждающее известный закон или научное положение применительно к предмету исследования;
- специальные теоретические заключения (связи, зависимости), вскрытые в процессе исследования;
- особенности действия или условия проявления отмеченных закономерностей, их взаимосвязь, точность и надежность оценок;
- ключевые особенности предложенных методов, схем, устройств;
- их сравнительную характеристику.

Из выводов нужно беспощадно вычеркивать все лишние слова. Выводы не должны быть банальными («очевидными и вероятными»). Примеры таких выводов [130, с. 427, 431] приведены ниже:

- *Оптимальное распределение потоков по клеткам пропорционально не протяженности улично-дорожной сети, а их пропускным способностям.*
- *В случае насыщенных потоков оптимальное решение достигается на распределении, в котором клеткам с перекрестками соответствует наименьшая доля интенсивности.*

В *Заключении* после краткой преамбулы (сущность решаемой проблемы и поставленные задачи) должны в форме пронумерованных абзацев перечисляться *основные результаты* диссертации, совокупность которых позволяет считать основную цель диссертации достигнутой и, следовательно, претендовать на искомую степень. Обычно их бывает не более десятка. Противоположная ситуация будет свидетельствовать о мелочности, неумении обобщать и справедливо оценивать свой труд. Теоретическая значимость диссертации считается *обратно пропорциональной* количеству результатов.

Перечень результатов должен *соответствовать списку задач*, поставленных на исследование, а его пункты быть близкими по синтаксису. Результаты должны быть *максимально конкретными*; как они получены, что и в каком количестве исследовано и проанализировано — *здесь* не обсуждается. При перечислении результатов старайтесь обойтись без

громких слов типа «методология», «концепция», «подход» — вам придется защищать их новизну! Если вы не хотите согласиться с данной рекомендацией, описывайте эти результаты в стиле формулы изобретения («отличается тем, что ...»). *Все основные результаты диссертации должны реально следовать из текста работы.*

Затем сообщаются сведения об их публикации и реализации, намечаются направления и пути дальнейших исследований.

Положения, выносимые на защиту, — это экстракт результатов.

Некоторые соискатели (в особенности из докторантов) пишут данный раздел работы аналогично проекту Заключения диссертационного совета. Делать этого не следует: ведь упомянутое Заключение содержит *оценки* отдельных аспектов работы и диссертации в целом (например, *является решением крупной научной проблемы*), которые должен давать не соискатель, но уполномоченные на то лица (оппоненты) и организации (совет, ведущее предприятие).

4.5.2. Введение

Введение в общем случае [146] — элемент предтекстового аппарата произведения, уведомляющий читателя об особенностях содержания, построения и назначения произведения, элементах научной и методической новизны, иных отличиях от известных аналогов, особенностях и достоинствах.

Во Введении к работе (и автореферату) приводятся:

- четкое определение вводимых понятий;
- условия и ограничения;
- состояние вопроса;
- критический обзор литературы — в строгом соответствии с объемом и задачами исследования.

Определения понятий надо цитировать по первоисточникам, а не по комментаторам. Определения должны удовлетворять следующим требованиям:

- существенность признаков;
- познавательная простота;
- эффективность;

- согласованность явной и контекстной форм (через род и видовое отличие; через перечисление существенных свойств объекта).

В обзоре необходимо указать исторические вехи развития вопроса (появление новых направлений, методов, фактов). История вопроса должна быть не исчерпывающей, но достаточной. Группировки по авторам и годам применимы ограниченно. Обращение к работам десятилетней и большей давности оправдано в редких случаях, однако ссылки на пионерские работы желательны независимо от года выхода их в свет. Ссылки по фамилиям и годам сразу покажут, что вы ссылаетесь на *современные* работы *уважаемых* авторов. Предварительно следует выяснить (например, по библиографии к упоминаемой работе), какая часть ссылки является фамилией. Собственные результаты в обзор включать не надо — они войдут в основной текст диссертации.

Обзор должен проводиться под углом зрения темы, с системным подходом и критическим анализом. «Описание прототипа» должно затрагивать лишь ту часть проблемы, которая позволяет выявить *отличительные признаки* предложенного решения. По полноте, группировке, аналитичности обзора оппоненты оценивают эрудицию диссертанта.

Начальная редакция введения и первая глава (обзор ситуации, сопоставление и анализ точек зрения, определение проблемы, собственные предложения — структура задачи, план исследования, ожидаемые результаты) обычно являются предметом обсуждения на постановочном семинаре и засчитываются за первый реферат.

Позже — после получения основных результатов — введение обязательно нужно *переписать* с учетом подготовленного проекта заключения диссертационного совета. В окончательном варианте введения обосновывается актуальность темы, дается характеристика проблемы, цели (исследование и изучение — *это средства*!) и метода решения, излагается краткое содержание работы. Сообщаются основные результаты, выделяются элементы их новизны. Не следует путать актуальность и новизну.

Будьте осторожнее, ставя себе в заслугу «комплексный» или «системный» подход. Результат указанного вида будет засчитан, только если применено *новое системообразующее основание*.

Далее обосновывается достоверность результатов. Сообщается их теоретическое и практическое значение. Указываются (ссылками на список литературы) публикации. Выражается признательность руководителю, консультантам, товарищам по работе, ученикам.

4.5.3. Список литературы

Общая задача библиографического аппарата — познакомить читателя с источниками цитат, заимствований, аналогий, фактов; сжать изложение, отослав читателя к работам, где отдельные вопросы рассмотрены более подробно, с иных позиций, сопровождаются бóльшим объемом числовых данных и т. п. В список литературы к диссертации следует включать лишь источники, на которые в ее тексте имеются прямые ссылки.

Ограничений на длину списка нет. По опыту такой список в кандидатской диссертации насчитывает порядка ста наименований, в докторской — несколько сотен (у А. Г. Ломако — более двух тысяч). Основу этого списка даст упоминавшийся в разд. 3.4 личный электронный каталог. Литература может указываться и к отдельным главам (это обычный прием при коллективном написании учебников широкого профиля). Большую библиографию и обзор можно вынести в приложение к работе. Ошибки в библиографии так же недопустимы, как в телефонной книге.

Список литературы вместе с ее аналитическим обзором может иметь самостоятельную научную ценность. Просматривая указатель литературы в научной работе, специалист может судить о содержании, глубине и значении последней, а также о научной добросовестности автора. Соискатели и авторы книг часто недооценивают интерес читателей и рецензентов к этой части работы. В результате, например, в списке литературы к главе 10 [129] значится: *Арнольд В. И., Гюгенс и Барроу, Ньютон и Гук — первые шаги математического анализа и теории катастроф. — М.: Наука, 1989*. Из-за неверной расстановки знаков препинания и отсутствия текстовых выделений создается впечатление, что все перечисленные лица — соавторы, хотя первого отделяют от остальных три столетия.

Ссылаться на *учебники*, исключая первоисточники и содержащие критикуемые ошибки новые, не рекомендуется. Нельзя включать в литературу нечитанные источники: можно попасть в глупое положение. Так, в список литературы об астрономе Галилее были включены «Мои воспоминания о Галилее» Э. Реклю, который жил на 250 лет позже Галилея и к тому же писал об одноименной *местности*. «Заметка о семействе Гоголей» (гоголь — птица) указывалась в работе по литературоведению [191, с. 153]. Это предостережение особенно актуально при электронном формировании библиографии.

Список обычно строится по порядку ссылок или по алфавиту — см. библиографию к данной книге. Работы одного автора располагаются

по годам их опубликования. Работы иностранных авторов с фамилиями, содержащими частицы de, van, Le и т. п., следует размещать в соответствии с основной частью фамилии: *Beethoven L., van.* При этом фамилии авторов выделяются (обычно курсивом). Фамилию ставят перед инициалами. Для переводов после слэша указывается «Пер. с англ. (франц., польск.)» (с большой буквы). Перед каждым разделом сведений, относящихся к заглавию, ставится двоеточие («:Учебное пособие»). Оно ставится также перед названием издательства. В отличие от основного текста, в библиографических описаниях не заключаются в кавычки заглавия произведений, названия тематических серий, издательств и журналов.

Ссылки делаются на номера источников или по указателям типа [< Фамилия >, < год >]. Последний вариант в диссертации предпочтительнее, поскольку уже ссылка содержит важную информацию; однако он занимает больше места. Оба они легко реализуются средствами системы LaTeX. Фамилии иностранных авторов при ссылке на первоисточник даются на языке оригинала. Названия журналов в пределах списка должны сокращаться одинаково. Нетрадиционные сокращения следует расшифровать.

4.5.4. Приложения

Приложения — это разновидность основного текста, вынесенная из него по одной из следующих причин:

- содержит справочные материалы, к которым приходится постоянно обращаться по разным поводам;
- включение его в основной текст отвлекало бы читателя от «генеральной линии» рассуждений;
- может быть востребован читателями независимо от основного текста.

Для любого приложения необходим нумерационно-тематический заголовок. *Все* приложение должно работать на подтверждение достоверности и практической значимости результатов.

В приложение выносят: подробные обзоры литературы (из докторских диссертаций); промежуточные математические выкладки и доказательства; реализующие предложенные алгоритмы программы вычислений или их фрагменты — если в них были использованы *нетривиальные* приемы программирования; большие таблицы исходной

информации и результатов счета и графики — кроме вошедших в основной текст работы наиболее характерных; протоколы испытаний; фотографии устройств и результатов их испытания; кинограммы и осциллограммы процессов; документы и бланковые формы и т. п. Наблюдавшиеся эффекты должны быть прокомментированы *в тексте диссертации* со ссылками на конкретные приложения, нумеруемые заглавными буквами. При большом объеме приложение брошюруется в отдельный том.

Нельзя переносить материал в приложение только для того, чтобы основная часть работы уложилась в отведенный объем (150 страниц для кандидатской и 300 — для докторской диссертации). В таких случаях ищите возможности уплотнения: поверьте, они *всегда* имеются.

4.6. Работа над изобретениями

Поскольку сама техника становится все «научнее», существенной частью диссертации могут быть *изобретения*, сделанные соискателем и вносящие заметный вклад в решение выявленной проблемы. Согласно Советскому энциклопедическому словарю, *изобретение есть новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи в любой отрасли народного хозяйства, социально-культурного строительства или обороны, дающее положительный эффект*. Положительный эффект А. Эйнштейн (а его карьера начиналась именно в патентном бюро) определял как увеличение отношения количества произведенных товаров к затраченному труду.

Наличие изобретений по теме диссертации свидетельствует об инженерной квалификации соискателя, его настойчивости и организованности (всем известно, как трудно пройти патентную экспертизу). Оно придает работе бóльшую законченность — в особенности если изобретение фактически воплощено «в металл» и реально использовано в промышленности. Демонстрация такого устройства или хотя бы его макета, безусловно, украсит процедуру защиты. В качестве контрпримера сошлемся на известный автору опыт «творческой бригады», подавшей более сотни заявок на устройства для моделирования систем массового обслуживания. Не было даже попыток построить хотя бы одно из них (эти задачи гораздо легче решались программным способом). Фактически авторские свидетельства были получены (и продолжают получаться другими авторами по аналогичным поводам) сквозь «дырку» в законодательстве.

Перечень авторских свидетельств и патентов юридически удлиняет список трудов соискателя, но повышает его шансы лишь при условии, что изобретения воплощают *единую* математическую или техническую идею и имеют *развитую теорию*. Напомним, что в деле соискателя должны фигурировать труды (в том числе изобретения) *только по теме диссертации*. За сорок лет работы в диссертационных советах автору запомнилось обсуждение лишь трех докторских диссертаций, в основном построенных на изобретениях: прецизионные шаговые электродвигатели, «тяжелые» гироскопы, вычислительные машины динамической архитектуры. Все они отвечали упомянутым условиям и были защищены триумфально.

Мотивация разработки изобретения создается осознанием *внешних* противоречий. В поставленной научно-технической задаче выявляют технические и физические *внутренние* противоречия. *Технические* противоречия возникают между элементами системы и их частями, между техническими параметрами и свойствами. Например, увеличение мощности может вызвать недопустимый перегрев, вибрацию, уменьшить точность, повлиять на работу соседних элементов. *Физические* противоречия состоят в том, что от элемента в различных режимах требуются различные свойства, — например, большое или малое электрическое сопротивление в зависимости от направления тока или в разные моменты времени. Примерами разрешения этих противоречий могут служить диод и транзистор соответственно. Изобретения высокого уровня, как правило, основаны на прямом использовании физических явлений.

Новая система обычно представляет собой *синтез* новых и отчасти старых элементов, придающий устройству новые свойства и возможности. Например, биметаллическая пластина при нагревании изгибается, что не свойственно монометаллическим изделиям.

В самом первом приближении технология решения изобретательских задач может быть представлена следующими этапами:

- Обзор аналогов и прототипов.
- Построение моделей более высокого уровня обобщения *с увеличением числа степеней свободы*.
- Определение оптимального варианта на этом уровне.
- Интерпретация оптимальной модели в образ (не формализуема).

Предметом изобретательства является новое понятие, определяемое совокупностью признаков. Класс изобретения определяет род. В нем

выделяется ближайший прототип, по которому составляется *ограничительная* часть заявки. Специфика предлагаемого изобретения фиксируется в его *отличительной* части. Обязательно некоторое *структурное* отличие в совокупности всех существенных связей (отношений) в устройстве.

Описания *методики* изобретательской работы обычно сводятся к систематизации приемов получения полезного эффекта:

- дробление и объединение (разделение автомобильного колеса на два намного повышает его надежность);
- вынесение элемента (гибкий трос передает вращающий момент зубоврачебному бору, световод — излучение в наконечник лазерного устройства, кабель — напряжение переменной частоты и амплитуды на пьезоэлементы «Витафона»);
- инверсия (в аэродинамической трубе движется не модель, а воздушный поток);
- переход в другое измерение (пространственный механизм вместо плоского);
- придание многофункциональности (ручка портфеля может служить эспандером, шариковая авторучка — указкой, расческа — линейкой, оправа очков может поддерживать и слуховой аппарат);
- обращение вреда в пользу (вибрация может использоваться для снижения трения, линеаризации эффекта, автоцентрирования).

Этот перечень заимствован из книги [162] и слегка модифицирован.

В теории решения изобретательских задач Г. С. Альтшуллера (ТРИЗ — см. [9, 61]) предлагается около двухсот операторов преобразования прототипа в изобретение:

- преобразования по аналогии (3 приема), формы (17) и структуры (19), в пространстве (16), во времени (8), движения и силы (19), материала и вещества (23);
- приемы дифференциации (12);
- количественные изменения (12);
- профилактические меры (22);

- использование резервов (12);
- повышение технологичности (13).

Перечень, безусловно, является ценным подспорьем для изобретателя, но никак не упорядочен, не структурирован и не связывает выбор приемов с характером выявленного противоречия. В приложении к книге [61] приведены задания для курсовых работ по дисциплине «Основы научных исследований», 40 приемов устранения технических противоречий и таблица выбора приема в зависимости от изменяемого параметра и ухудшаемых при его изменении характеристик.

«Наука изобретать» Б. А. Лабковского [121] построена как полемика с автором ТРИЗ, но содержит скорее философию, чем практические рекомендации по изобретательской деятельности. Сильной стороной книги [121] является опора на теоретические концепции: системный подход, методы оптимизации, теорию устойчивости, выявление инвариантов, теорию размерностей и тензорный анализ.

Глава 5

Язык и стиль диссертации

5.1. Литературные требования

«Форма преподнесения результатов исследований — залог успеха всей работы. Соискатель должен проявить себя не только талантливым исследователем, но и не менее талантливым писателем, оформителем, редактором, корректором и книгоиздателем» [173, с. 42].

В мировой образовательной системе для определения степени готовности к академической деятельности — обучению в университете или колледже, научной и исследовательской работе, а также к любой профессиональной деятельности, связанной с документами и информационными источниками, все шире используется термин «академическая грамотность» [108]. Он подразумевает умения анализировать и критически мыслить в применении к текстовой информации. Критерии академической грамотности варьируются в зависимости от конкретных условий. Интересен пример ЮАР, где блестяще разработан (с точки зрения проверки навыков логического, критического и аналитического мышления) тест TALL. В тесте проверяются следующие умения:

- владение общенаучной лексикой;
- умение дать определение проблеме, провести доказательство и представить фактический материал в его поддержку;
- понимание разных типов языка и текста (научные описания, инструкции, таблицы, доказательства и т. д.);
- восприятие составных частей текста и связей между ними;

- умение отличить основную идею от второстепенных деталей, причину от следствия, факт — от мнения;
- умение интерпретировать графическую информацию и понимать диаграммы;
- быстрое выполнения простых расчетов без помощи калькулятора;
- умение оценить значение понятого на более общем и высоком уровне;
- умение делать выводы на основе информации и применять их к другим ситуациям;
- понимание метафор.

В Германии академическая грамотность входит в программу Федерального института образования взрослых, в Швеции — в программу Института образования Стокгольма.

Недостаточно получить научные результаты — надо еще их *описать*. И здесь мало одной правильности по существу предмета. Столь же важны упорядоченность мыслей, отбрасывание всего случайного и второстепенного, лаконичность формы, тщательный выбор единственно адекватного слова и построения фразы. Наконец, текст должен соответствовать нормам литературного языка и быть элементарно грамотным. Это хорошо понимал еще М. В. Ломоносов [102]:

> «Еще же примечено в академиях, что весьма знающие в своих науках профессоры мало притом искусны в словесных науках, так что их сочинения излишними распространениями, неявственными, сомнительными и ненатуральными выражениями в чтении скучны и невразумительны. Для того академики должны быть достаточны в чистом и порядочном штиле, хотя и не требуется, чтобы каждый из них был оратор или стихотворец».

Перечисленные требования за 250 лет, к сожалению, не потеряли актуальности и отнюдь не являются частным мнением автора или коллективной причудой старой профессуры. Текст диссертации является «зеркалом ума» диссертанта. Он объективно отражает общую и профессиональную культуру последнего и существенно влияет на итоговую оценку работы советом и официальными оппонентами, которым ВАК

вменил в обязанность отмечать в отзывах литературные достоинства или недостатки диссертации. ВАК уже давно имеет основания быть недовольной, о чем свидетельствуют приведенные ниже выдержки из Инструктивного письма ВАК СССР от 16 ноября 1979 г.

О ЯЗЫКЕ И СТИЛЕ ДИССЕРТАЦИЙ И АВТОРЕФЕРАТОВ

Диссертанты подчас не умеют сжато, логично и аргументированно изложить содержание и результаты своих исследований, что ведет к обилию общих слов, бездоказательным утверждениям, тавтологии, неоправданному увеличению объема диссертаций. В некоторых диссертациях встречаются абсолютно неприемлемые формулировки, большое число стилистических и грамматических ошибок. Серьезным недостатком значительной части диссертаций является склонность к языковым штампам и невыразительный, трудный для восприятия язык изложения материала.

Нередко указанные недостатки являются следствием невысокой научной квалификации соискателей, их низкой языковой и общей культуры, а также свидетельствуют о недостаточной требовательности диссертанта к самому себе, а научных руководителей и специализированных советов — к соискателям. В заключениях советов без достаточной аргументации и часто неоправданно употребляются превращенные в штамп определения «впервые», «фундаментально», «системно».

ВАК оставляет за собой право возвращать в специализированные советы без рассмотрения небрежно оформленные, содержащие грамматические ошибки и грубые стилистические погрешности диссертации или отказать соискателю в присуждении ученой степени.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ВАК *В. Г. Кириллов-Угрюмов*

Эти требования никто не отменял, но за тридцать лет ситуация заметно *ухудшилась*, и Пленум ВАК был вынужден снова отметить «низкую требовательность отдельных диссертационных советов к стилю изложения диссертационных работ и рефератов» (Бюлл. ВАК, 2003, № 1).

Одна из причин отмеченных в цитированном Письме и сохраняющихся доныне дефектов диссертаций состоит в том, что развиваемые в российской средней школе навыки ориентированы не на работу с научными или иными информационными современными текстами, а на ху-

дожественную литературу, главным образом русскую литературу XIX в. Избыток заучиваемой наизусть информации при полном отсутствии возможности выбора или выражения собственного мнения, а также принудительное связывание русского языка с художественной литературой, а не с предметными областями, имеющими прямое отношение к социокультурному и научно-техническому развитию, препятствуют подготовке выпускников к реальной жизни в эпоху информатизации. Неудачные результаты российских школьников по сравнению с их зарубежными сверстниками свидетельствуют о пробелах не только в форме, но и в содержании образования [108].

Поиск оптимальной формы научного произведения идет на всех стадиях исследования. Научить соискателя *написать* (в узком смысле слова) работу — одна из важнейших и, как ни странно, сложнейших забот руководителя. В этом должен быть заинтересован и сам соискатель, для которого аспирантура — *последний шанс под квалифицированным руководством научиться излагать свои мысли*. К сожалению, этот шанс используется не всегда: мешают занятость руководителя, амбиции соискателя, дефицит времени на шлифовку текста. А ведь теперь, при компьютерном наборе рукописи, коррекция и перепечатка ее могут быть выполнены в считанные дни! Разгребать же «готовый продукт» вынуждены рецензенты от совета и оппоненты (с момента принятия диссертации к защите править ее уже нельзя).

Отметим, что значительная доля трудностей докторантов также коренится в *изложении* полученных результатов. Рецензенты зачастую не могут не только оценить результаты, но просто доискаться смысла. Естественно, они свирепеют и возвращают диссертацию на доработку.

Т. Данциг [75, с. 159] справедливо утверждает, что «особые точки кривой больше скажут нам о ее истинной сущности, чем форма кривой; точно так же неправильности в ходе развития любой человеческой деятельности более ясно выявят факторы, лежащие в ее основе, чем это сделают черты, общие с другими аналогичными видами деятельности». В частности, ошибки в оформлении диссертации исчерпывающе характеризуют квалификацию диссертанта. Так покажите же высокую квалификацию!

5.2. Грамотность

Самое серьезное внимание соискатель должен обратить на грамотность (лучше еще до написания диссертации). Особенно позорны ошиб-

ки в профессиональных терминах: они показывают, что автор работы *не читает книг по специальности*. К сожалению, такие ошибки — не редкость. Почти в каждой диссертации (и, к сожалению, в методическом пособии «Лектору о слове» [23, с. 73]) можно обнаружить успешно выполненный *раССчет*. В трудах философов регулярно встречаются формулировки типа «К общим законам науки относится закон экспоТенциального развития науки, устанавливающий зависимость темпов роста науки от ее размаха и интенсивности» [143, с. 15]. В книге В. Пекелиса [168] на с. 186 трижды пишется об «элЕксире творчества» — ошибка явно не случайная и свидетельствующая о недостатке общей культуры автора и редактора (жидкий = liquid). Некоторые авторы не видят разницы между переводом и транскрибированием: «Фамилию Harris в некоторых отечественных изданиях *переводят* как Гаррис». В сборнике [46] памяти В. И. Вернадского сообщается о создании при Академии научного комитета по *реконструкции* последствий нашествия гитлеровских полчищ — не реконструкции, а ликвидации! Там же пишется об «открытии огнестрельного оружия и книгопечатания» — *открыть* можно только то, что уже существовало! Обсуждается признание «учения о биосфере Вернадского» — вместо «учения Вернадского о биосфере». Пишется об «инициативе *бессменного* секретаря Академии» — должность называлась *непременный* секретарь! Как синонимы употребляются *взрывоподобное* и *бифуркационное* явления. Декларируется «приход на смену линейному мировосприятию дискретного»: здесь неверно используются противоположения. Ставится диагноз гражданскому обществу США:

> «По мнению многих социологов, главный конфликт США — не классовый и не расовый, а обусловленный "войной полов" и их ценностей... Этот парадокс можно объяснить, если представить себе расщепление общественного сознания в соответствии с мускулинными и фемининными ценностями. Архетипический образ мускулинности — ковбой со всеми его ценностями. В основу маркетинговых кампаний... положена в основном философия женского двухполушарного восприятия».

Не нужно путать лат. masculinus (мужской) с мускулистостью! Да и «двухполушарное восприятие» вместе с «ковбойскими ценностями» в этом контексте воспринимаются неоднозначно.

В другом источнике [14] не различаются кОмпания и кАмпания, дополнительность (по Л. Н. Гумилеву — комплЕментарность) заменяется на комплИментарность.

А вот примеры орфографических ошибок из *одной* диссертации:

КатОстрофические последствия
ВычЕтая...
ОбъедЕненных...
ПерЕпИтия ядерного противостояния
ПОрабола
СтАхОстическая процедура
НарОстание
ИмМитационное моделирование
СтупенЬчатая функция
ЭмМиТерная логика
ГринвичЕская система
РаспЕРделение ресурсов
Пердача данных
Учебное поЕсобие
Случный выбор
ИнтерпрИтация
Ось абцис
Програма

Даже если это отпечаток личности сексуально озабоченной машинистки (автору приходилось работать с особой, которая автоматически заменяла «начал» на «зачал», а «итерации» на «титерации»), ответственность за предъявленный совету материал полностью несет диссертант.

Теперь приведем *синтаксические* ошибки разных авторов:

1. *Предлагаемая система автогенерации ОС может использоваться в качестве инструментария системного программиста, который позволяет сократить в 3–4 раза время проектирования рабочей версии ОС.*

   Кто позволяет? Программист?

2. *Чтобы добиться такого действия, используется специальная маска, чья структура зависит от типа кинескопов от разных производителей, обеспечивающая дискретность (растровость) изображения.*

   Фраза построена хаотично. «Производители» здесь ни при чем, о действии шла речь выше. Текст, начиная с «чья», можно заменить на «структура которой зависит от типа кинескопа».

3. *Развивая теорию конфликта в книге* [ ], *он рассмотрен как способ взаимодействия сложных систем.*

   «Жалобную книгу» А. П. Чехова вспоминаете?

4. *В то же время, вводя в функционал терминальный член, штрафующий отклонение фазовых переменных в финальный момент времени от заданных значений, данный метод может быть распространен на задачи с фиксированными концами.*

   Аналогичный ляп, отягченный угрозой сексуальной интерпретации.

5.3. Стиль

Знакомство с лучшими образцами классической литературы, в особенности поэзии, приучает ценить емкость текста, нетривиальность и многослойность смысла, характерность деталей, богатство и неожиданность ассоциаций. Не все эти качества удается придать научно-технической продукции, но упомянутые образцы должны служить ее автору камертоном для самонастройки.

К сожалению, понимать текст, чувствовать текст, наслаждаться текстом в типичной средней школе не учат. Между тем, слова любого языка имеют не только огромное количество значений, но и множество эмоциональных и функциональных оттенков, которые объединяются под термином «стилистическая окраска». Это дает писателям и поэтам основание говорить о том, что слова имеют цвет и запах, излучают поэзию, образуют богатство языка. Совершенное знание языка предполагает развитое «чутье»; умение улавливать и выражать оттенки; сказать больше, чем написано. Такой способ изображения требует от читателя максимальной активности, втягивает его в творческий процесс, дает толчок его мысли.

Хорошим введением в проблему литературного стиля может служить книга «Лектору о слове» [23]. Выборочно приведем ее оглавление:

> Точность слова. Что такое лексическая сочетаемость. Стилистическая окраска слова. Синонимы: их достоинства и недостатки. Паронимы: друзья или недруги? Против штампа. Канцеляризмы и «канцелярит». Термины и профессионализмы. О синтаксической структуре публичной речи. Словам тесно, мыслям просторно. Незаменимые помощники лектора (о словарях).

Чрезвычайно ценен список литературы, содержащий перечень нужных каждому автору словарей русского языка.

Приведем несколько примеров разбираемых в [23] стилистических ошибок:

Мне нужна красная роза, и я добуду себе таковую.

Поэтический стиль смешивается с канцелярским.

Драка есть такое состояние, субъект которого, выходя из границ объективности, совершает вторжение в область охраняемых государством объективных прав личности, стремясь нарушить целость ее физических покровов.

Налицо явно переформализованная ситуация.

Воины купаются в реке... Авиаторы пьют чай.

Характерный для изданий типа «Красная Звезда» ходульный штамп (следовало писать просто о солдатах).

Студенты на целине возводят дома из самана.

«Возводить» можно здание из мрамора, но не из самана.

Физики (и политики) говорили о неисчерпаемости атома. Лингвисты считают, что Слово тоже неисчерпаемо. Как известно, «в начале было Слово». Есть мнение [84], что

> «когда исчезнут вещи и дела, и даже след цивилизаций, вдруг прорастут из Времени — Слова, осмыслив жадное Пространство. Все, что копили миллионы лет, Слова вдруг явят, запах свой и цвет, и форму, без которой слова — нет... Слова до времени дают с собой играть, свою скрывая власть, но расщепленный атом содрогнется — от зависти, — когда терпенье это оборвется. Хоть можем долго мы еще бездумно жить, и мелочность свою в слова рядить, и мелкостью своей Словам вредить, и говорить, и городить. Им некуда спешить, у Слов — в отличие от нас — в запасе Вечность».

Нам же обязательно нужно прислушаться к завету великолепного стилиста, нобелевского лауреата И. А. Бунина:

«Молчат гробницы, мумии и кости, —
Лишь слову жизнь дана:
Из древней тьмы, на мировом погосте
Звучат лишь письмена,
И нет у нас другого достоянья!
Умейте же беречь
Хоть в меру сил, в дни злобы и страданья,
Наш дар бессмертный — речь».

Речь культурного человека (в особенности письменная, ибо написанное «не вырубишь топором») должна выражать мысль точно, со всеми ее оттенками, соответствовать нормам образцового словоупотребления. *Закон, написанный плохим языком, уже таит в себе возможности беззакония* (В. Каверин, «Художник неизвестен»). Надо помнить, что любые неправильности компрометируют как текст, так и его автора. «Язык развивался много веков и за это время создал средства

для выражения самых тонких оттенков мысли. Но это клад, который мы зарыли в землю. Молодые люди прекрасно знают, какую одежду выбрать для работы, пляжа или танцев. Но выбрать нужное слово в той или иной ситуации не умеют. Берут то, что подвернется, тем самым обедняя и искажая речь» (М. А. Тарасова, «СПб. Ведомости», 9.02.2001), заменяя *исполнение желаний* на... *сбычу мечт*.

Надобность в словесных оттенках возникает постоянно. Для примера приведем возможные эпитеты из дарственных надписей на книге коллегам по кафедре: *глубокоуважаемый, уважаемый, высокочтимый, досточтимый, достопочтенный, изумительный, уникальный, любезный, милейший, дорогой, дражайший, незабываемый, незабвенный, неимоверный*. Не правда ли, оттенки отношений между дарителем и одаряемым вполне различимы? Попробуйте их определить. Подумайте, кому из ваших друзей и с какой надписью подарили бы вы свою диссертацию. Укажите смысловые оттенки членов приведенных ниже рядов:

- Создатель, творец, автор, заводчик, изготовитель, производитель.
- Мастер, специалист, профессионал, корифей.
- Дебаты, спор, полемика, дискуссия, диспут.
- Оценка, отметка, рейтинг, балл.
- Восстановление, восполнение, воссоздание, воспроизводство, возрождение, регенерация, ренессанс[1].
- Табу, запрет, вето.
- Равенство, тождество, совпадение, эквивалентность, равносильность, конгруэнтность.
- Вывод, итог, результат, следствие, заключение, резюме.
- Недочет, недостаток, дефект, дефицит, пробел, изъян, ошибка.
- Диспозиция, расположение, размещение, дислокация, локализация.
- Инновация, нововведение, новинка, новость, новообразование.
- Колебание, отклонение, вибрация, флуктуация, дрожание.
- Критерий, показатель, фактор.

[1]Автор долго не мог осознать происходящее, увидев на обложке книги в магазине «Планета» название «Renaissance» под портретом Л. И. Брежнева.

Как пример ошибки обсуждаемого вида приведем заявление [129, с. 87] об *ожесточающемся нормировании автомобильных выбросов*. Надо же чувствовать разницу между «ожесточением» и «ужесточением»!

Пищущий научный текст должен прежде всего понимать роль разных частей речи. «Существительные и глаголы являются именами относительно устойчивых сущностей и процессов. Прилагательные именуют свойства сущностей, а наречия — свойства процессов. Союзы являются именами отношений, а междометия — именами эмоциональных состояний и установок человека» [30, с. 28–29].

Главная *формальная* особенность научной речи — преобладание существительных. Наука прежде всего трактует и объясняет суть вещей, предметов и явлений, для чего нужны существительные — имена этих вещей. Используется большое число существительных с абстрактным значением и отглагольных: *исследование, рассмотрение, вычисление*.

Следует опасаться омонимов (*бокс* — вид спорта, прическа, изолятор в медицинском учреждении, ящик, неделимый фрагмент рукописи в LaTeX'е); различать оттенки синонимов и паронимов (околослов): экономный — экономический, эффектный — эффективный, цельный — целый, оценка — оценивание. Ошибочно используются как синонимы: плоскость, грань, поверхность; емкость, объем, вместимость. Вызывает затруднения использование противоположений: статический — динамический, стохастический (статистический, вероятностный) — детерминированный, дискретный — непрерывный. Портят стиль канцелярские штампы. Сплошь и рядом некорректно используется словосочетание «*за счет*» — вместо «путем», «с помощью», «через», «посредством», «благодаря» и т. п.

Нужно осторожно обращаться с иноязычными заимствованиями. Они часто приводят к скрытой синонимии: реакция взаимодействия, эффект действия, определение детерминанта, инициативное начинание, габаритные размеры, промышленная индустрия, сервисное обслуживание, потенциальные возможности. В задачнике по *логике* (!) [56, с. 95] муссируется суждение «*Некоторые книги не являются букинистическими*» — вполне нелепое, если вспомнить, как переводится «book». В этом контексте явно следовало писать об *антикварных* книгах. В учебнике [66] по поводу логических законов сообщается, что *особенно богат на эти темы народный фольклор: «Незнание закона не освобождает от вины»*. Мало того, что «фольклор» — синоним «народного творчества»: здесь народу безосновательно приписывается профессиональная юридическая формулировка! Из философского сборника памя-

ти В. И. Вернадского [46] мы узнаем, что Вернадский выступал против *рациональной трактовки разума*. Автору пришлось оппонировать по докторской диссертации, в которой проводилось различие между *декартовым* и *картезианским* произведениями множеств, — оба этих термина происходят от фамилии *одного* человека (Р. Декарта) и не должны обозначать *разные* понятия.

Следует избегать профессионального жаргона. «*Юзать такой софт*», заменять программиста на «программера», а сообщество на «комьюнити» не следует. Однако не нужно впадать и в противоположную крайность: Ф. А. Кузин [117, с. 139–140] считает жаргонными слова «шлюзовать», «зависание», «прогиб» и наверняка запретил бы «авост». Вообще кастрация живого языка — не меньшая опасность, чем его засорение ненормативной лексикой. К примеру, слова «компьютер» и «трафик» давно интегрировались в русскую научную лексику.

Если грамматика учит читать, говорить и писать правильно, то *стилистика*, полагая правильность уже достигнутой, учит говорить и писать *выразительно* — обучает языковому мастерству[2]. Стили — своеобразные регистры языка, позволяющие переключать его с одной сферы общения на другую. Продолжая музыкальные аналогии, в этом смысле автора диссертации или книги можно уподобить органисту. Обычно выделяют следующие стили: разговорный, деловой (канцелярский), публицистический, научный, литературный. «Грамотно пользуясь ими, можно выразить сложную научную мысль, глубокую философскую мудрость; в точных и строгих словах начертать законы; очаровать изящными стихами; заклеймить политического противника; добиться от начальства выделения необходимых ассигнований» [228].

Стилистические ошибки возникают при смешении разностилевой лексики, бездумного или неточного словоупотребления. Приведем реальные образчики такого стиля (В. Маяковский назвал бы его «mauvais goût») с комментариями:

Открытие сыграет большой эффект.
«Играют» роль, а эффект «дают».

В силу слабой разработки этой теории...
«Сила» по определению не может быть слабой. Тогда уж «вследствие».

Невыразимым свойством программы в теории Хоара является ее завершаемость.

[2]Термин «магистр» означает «мастер» — следовательно, предполагает достижение мастерства. Тем более это относится к кандидатской и докторской степеням.

Термином «невыразимые» в литературе обычно обозначают... кальсоны.

Искался путь к достижению оптимального решения.
«Искаться» означает ловить блох или иных функционально подобных существ. Кроме того, путь следует искать к решению, а не к достижению его. Как писали Ильф и Петров, «не нужно включаться в кампанию по борьбе за чистоту: надо просто подметать улицы»!

Предложен оригинальный метод ...
Непонятно, что имеется в виду: новизна метода или его своеобразие.

Взрывы порождают сейсмические волны, которые специальным образом воздействуют на установку.
Может быть, просто трясут?

Рабочая поза — это положение человека в процессе труда. Наиболее распространенными рабочими позами являются позы «стоя» и «сидя».
Столь «глубокие» рассуждения об упомянутых позах уместны разве что в Кама-сутре.

Рабочие места операторов ПЭВМ должны располагаться в помещениях, имеющих естественное или искусственное освещение.
Какая мысль!

Существенным препятствием является сложность исследования существенно различных форм существования программ.
Три «существенности» в одной короткой фразе — явный перебор.

В заключение этой серии вернемся к вопросу о штампах. Важно различать штампы как отрицательное явление и как *речевые стандарты*, следование которым обязательно. Для примера сошлемся на введение к диссертации, автореферат, заключение диссертационного совета, наградные листы, судебные приговоры и т. п., где необходимо *буквальное* копирование формулировок основополагающих документов.

Специфика научного мышления обусловила важнейшие стилевые особенности языка науки: логичность, четкость, обобщенность изложения, объективность, насыщенность содержанием, лаконизм речи. Фраза из научной работы собирается из слов, как часовой механизм — из тщательно пригнанных деталей. «Нильс Бор, этот с раннего детства якобы тугодум, всю жизнь, в каждой своей строчке, беспощадно и страстно, как-то даже приговоренно, искал кратчайшее расстояние между мыслью и словом. Он же сам как-то сформулировал: "Когда я говорю, я хочу выразить словами то, чего сам еще не знаю"» [84].

Осмысленное владение математическим аппаратом почти автоматически организует процесс мышления, невольно заставляет искать точные слова. Человек даже с умеренной математической подготовкой не поддержит тезис из [66] «*Ни один минимум не является максимумом*»: седловые точки являются одновременно минимумом по одной координате и максимумом по другой.

С общефилологической точки зрения научному стилю присущи:

- логика, объективность, абстрактность;
- точность, ясность и лаконичность;
- монологический характер;
- безличность;
- тесная связь частей высказывания, отражаемая синтаксической структурой;
- насыщенность специальной лексикой (терминами).

Применительно к научному изложению часто [23, 49, 59, 93, 167, 191] цитируют тезис Н. А. Некрасова: «словам должно быть тесно, а мыслям просторно». *Если вдуматься* (поразительно, что за полтораста лет этого никто не сделал!), цитированный текст означает, что в ограниченный объем следует заключить много слов и мало мыслей. На самом деле ситуация в точности обратная: в вашей диссертации *слов должно быть мало, а мыслей много*. Писать следует без повторов, в том числе неявных («весовые коэффициенты важности»), излишней детализации, словесного мусора.

В научных текстах сравнительно редко встречаются переносные значения, метафоры, гиперболы, аллегории. Однако их охотно применяли классики естествознания: «Я не считаю необходимым писать свои книги и статьи суконным языком, тщательно вытравляя из них все, что может способствовать оживлению и лучшему усвоению изучаемого, порой сухого материала. Право пользоваться метафорами не должно быть монополией поэтов; оно должно быть предоставлено и ученым» (Я. И. Френкель, [154, с. 74]). Процитируем, к примеру, И. М. Сеченова [182, с. 127]:

> «Смеется ли ребенок при виде игрушки, улыбается ли Гарибальди, когда его гонят за излишнюю любовь к родине, дрожит ли девушка при первой мысли о любви, создает

ли Ньютон мировые законы и пишет их на бумаге — везде окончательным фактом является мышечное движение».

По акад. Е. Н. Павловскому [182, с. 128], «стихотворные формы изложения научных произведений отжили свое время; но ученые-поэты не перевелись». Красота и выразительность языка научной прозы заключается в краткости и точности выражения мысли при максимальной информационной насыщенности слова, в *энергии* мысли. Процитируем по [228] проф. Г. П. Лыщинского:

> «В течение столетий взаимодействуя с мощной стихией русского языка, наука сумела выработать великолепный собственный язык — точный, как сама наука, лаконичный, звонкий и выразительный. Я читаю, например: детерминированная система, квазиупругое тело, электромашинный усилитель — и каждое такое словосочетание дает мне, специалисту, удивительно многостороннюю и удивительно сжатую характеристику предмета, явления, устройства. Мне кажется, по своей емкости и, если хотите, изяществу язык подлинной науки близок к языку поэтическому, и, надо полагать, не случайно современная поэзия столь охотно допускает на свои страницы терминологию из научного лексикона. Поэтов, несомненно, привлекают точность и лаконичность языка науки.
>
> Элементы эмоциональности и образности возможны даже в самых точных науках — достаточно упомянуть "доверительную вероятность" в статистике, "скорейший спуск" и "овражный метод" — в математическом программировании.
>
> Укрепляются связи между научным и обыденным сознанием, в повседневный язык внедряется техническая (в особенности компьютерная) лексика и обороты типа "общественный резонанс", "моральный вакуум". Литературный язык приобретает тенденцию к строгому и точному выражению мысли, становится более емким и информативным. Не скрою, мне приятно, когда институтский хозяйственник является ко мне с вопросом об "алгоритме летних работ" ».

К физическим «эмоциональностям» из этой цитаты следует добавить типы кварков, именуемые «ароматами» [144, с. 229]. Имеется шесть ароматов: верхний, нижний, странный, очарованный, красивый и высший.

Язык науки по определению наиболее метафоричен. В сравнении с обыденным, даже с литературным языком только поэзия требует

такого же высокого уровня — поскольку новые значения созвучны наименее вероятным (краевым) зонам смыслового поля, а это и есть область метафор. Автору приятно в связи с этим напомнить, что языку в физике посвящались целые сольвеевские конгрессы величайших корифеев естествознания, и процитировать *гуманитария* (видимо, с неплохой математической подготовкой) [84]:

> «Именно они — тот же Вейль, де Бройль, Лобачевский, Вернадский, Циолковский, именно они, которым пришлось абсолютно новые понятия выражать на старом нашем, привычном таком, языке, умели его чувствовать свежо и остро, говорить о нем с максимальной серьезностью, откровенностью и точностью.
>
> Говоря о фактах биографии, они всегда разумеют события — Интеллекта, Науки, Мира. Возможно, они просто ближе к процессу мышления? И уж наверняка владеют им логически и иррационально более изощренно. Вся дисциплинированно упорядоченная, интуитивно отточенная и аргументированно доказательная природа их внутреннего существования, без которой в этих науках не ухватишь достигнутой сути и никак уж вперед не прыгнешь, дает им завидную литературную свободу и почти непременную художественную озаренность. И все-таки никак не привыкну, что математики и физики находят слова, от которых вздрагиваешь, а толстые тома литературных воспоминаний порою просто процеживаешь китовым усом, радуясь даже слабому сгустку душевной либо какой еще информации».

Вернемся, однако, к прозаическим аспектам написания диссертации. Полезно иметь под рукой список служебных слов, *организующих* научное изложение. Такие слова:

- выделяют предмет (*акцентируем, отметим, подчеркнем, повторим, остановимся на ...*);
- заключают ранее приведенные рассуждения (*поэтому, отсюда, следовательно, тогда, таким образом, тем самым, итак, в итоге, в результате*);
- показывают новую грань предмета или сопоставляют его с другим: *однако, с другой стороны, тем не менее, все же, в то же время, в отличие от, напротив*;

- расширяют приведенные ранее соображения: *кроме того, в свою очередь, а также, дополнительно*;
- ограничивают соображения: *в случае, при условии, тогда и только тогда*;
- вводят примеры: *например, в частности, проиллюстрируем ..., покажем ...*;
- определяют степень достоверности: *известно, установлено, доказано, считают, конечно, безусловно, естественно, утверждают, полагают, возможно, вероятно, по-видимому, потенциально, не исключено* и т. п.

Список рекомендуемых синтаксических конструкций см. также в [120, с. 8–13]. Наоборот, всякие *некоторый, некий, надлежащий, соответствующий, что-то, где-то, кое-где, как бы, иногда, известный, подходящий, специальный, типа* нежелательны, поскольку нагнетают неопределенность, а не устраняют ее. В итоге получается «как бы диссертация».

Основная форма изложения — безличный монолог, ведущийся от третьего лица. Глаголы обычно используются в настоящем времени и действительном залоге. Это увеличивает актуальность, делает читателя соучастником рассуждения и лучше убеждает. Сослагательное наклонение и модальные формы применяют при обсуждении условий и вариантности. Пассивные формы концентрируют внимание на *объекте* действия.

Необходимость аргументировать высказываемые мысли, обнаруживать причины и следствия анализируемых явлений ведет к частому употреблению сложных предложений, в особенности сложноподчиненных. Такие предложения преимущественно выражают причинные, условные, временны́е и иные зависимости. Они теснее объединяют компоненты тезиса. Разумеется, речь здесь идет об образцовых научных текстах — эстетическом идеале языка науки. Однако, как следует из приведенного выше письма ВАК, практика часто далека от идеала. Главное препятствие к взаимопониманию — не «трудные слова», а дикий синтаксический строй, превращающий обычный человеческий язык в «птичий», причем отнюдь не соловьиный. Полезно вспомнить школьное определение предложения (*законченная мысль, ясно выраженная словами*) и сделать из него надлежащие практические выводы: в предложении

- мысль должна быть одна;

- законченная;
- ясно выраженная.

Приведем *реальные* (увы!) примеры переусложненных синтаксических конструкций, смысла которых не доищешься. Заинтересовавшимся читателям рекомендуем провести грамматический разбор этих фраз.

1. *Если у вас нет серьезных проблем с позвоночником (если позвоночные диски смещены, надо провести коррекцию позвоночника или, как обычно говорят, «вправить позвоночник»; необходимо, чтобы эту процедуру выполнял опытный мануальный терапевт), для поддержания позвоночника в работоспособном состоянии необходимо заботиться о развитии и укреплении широчайших мышц, поддерживающих позвоночник.*

   Эта фраза явно нуждается в «коррекции позвоночника». Нужно разбить ее на два предложения и в первом поговорить о больных людях, а во втором — о здоровых. «Широчайшие» мышцы читатели без медицинского образования не оценят.

2. *Автор рассматривает конфликт как определенное соотношение между субъектами, действующими в общественной сфере или среде, имеющими определенные состояния, порожденное противоречиями между этими субъектами, достигшими достаточно высокого уровня своего развития.*

   Фраза только нагнетает неопределенность. Она замечательна бессмысленностью и синтаксисом — изобилием причастных оборотов, причем трудно понять, который к чему относится.

3. *Кроме того, вероятность того, что случайная величина времени решения отдельной операции управления не превысит случайной величины директивного времени, должна быть не меньше допустимого значения, определяемого функциональной и временной избыточностью ТЦУ, вызванной необходимостью учета возможности сбоев и отказов вычислительных средств ИВК, времени восстановления их готовности, возможности ожидания запроса на решение задачи в очереди и решения ее в мультипрограммном режиме.*

   Лучше убрать непринципиальные оговорки и промежуточное понятие «избыточность»:

Вероятность уложить расчет операции в директивный срок должна быть не меньше указанного значения. Последнее нужно задавать с учетом сбоев и отказов вычислительных средств ИВК, времени их восстановления, возможности ожидания запроса на решение задачи в очереди и реализации мультипрограммного режима.

5.4. Математика и поэзия

Поэтическая форма изложения научных достижений является самой древней формой научных трактатов. Научные и научно-философские обобщения пронизывают Ригведу; мы находим их в еще более древних халдейских и египетских гимнах [44, с. 214]. Блестящим примером художественно-научного творчества является Лукреций (I век до н. э.). В тот же ряд может быть поставлен И. В. Гете — одновременно великий поэт и крупный натуралист. Сам Гете был весь проникнут сознанием нераздельности и близости художественного и естественно-научного творчества. Он говорил про свое время: «Забыли, что наука первоначально развивалась из поэзии».

А. Ламартин [15, с. 174] считал поэзию самой величественной формой, в которую может облечься человеческая мысль. Емкость и лаконизм математических и близких к ним рассуждений определенно сближают математику с поэзией. Классики математики имели свой неповторимый стиль мышления и изложения результатов. «Как музыкант узнает с первых аккордов Моцарта, Бетховена, Шуберта, так и математик различает уже с нескольких страниц своих Коши, Гаусса, Якоби, Гельмгольца» (Л. Больцман, [137, с. 115]). Приведем выдержку из предисловия к сборнику [137] афоризмов о математике:

> «Математика, как это ни парадоксально, в определенном смысле "родственница поэзии". Несмотря на всю свою сложность и отвлеченность, она содержит в себе много художественного, образного — как в отношении создания ее, так и в характере своего существования. Говорят даже о "математических образах" как способе познания мира, присущем математике. Во всяком случае несомненно, что математика — это действительно поэзия, поэзия мысли, "поэзия логики идей", как выразился А. Эйнштейн, а математические формулы и законы не только выражают существенные особенности объективного

мира, но и отражают "настоящую, глубокую красоту природы". Недаром многие великие математики были ревностными почитателями поэзии, а многие поэты высказывали свое восхищение стройностью и красотой математической мысли».

Прежде всего вспоминаются те из них, которые гармонично сочетали лаконизм, форму и содержание: А. С. Пушкин и В. Я. Брюсов.

СОНЕТ К ФОРМЕ
В. Брюсов

Есть тонкие властительные связи
Меж контуром и запахом цветка.
Так бриллиант невидим нам, пока
Под гранями не оживет в алмазе.

Так образы изменчивых фантазий,
Бегущие, как в море облака,
Окаменев, живут потом века
В отточенной и завершенной фразе.

И я хочу, чтоб все мои мечты,
Дошедшие до слова и до света,
Нашли себе желанные черты.

Пускай мой друг, разрезав том поэта,
Упьется в нем и стройностью сонета,
И буквами спокойной красоты!

Этот замечательный сонет в сходном контексте цитирует и акад. Мигдал [144, с. 107].

К вершинам японской и мировой поэзии относятся *танка и хокку*: сжатые поэтические формулы, где нет ни одного лишнего слова. Цель таких стихов — погрузить читателя в молчание, родственное моменту *сатори* (просветления), полное не выразимого в слове высшего смысла. Чем богаче подтекст, тем выше считался поэтический уровень хокку:

«Превосходное стихотворение было событием государственного масштаба. Такие стихи помнили долго. Веками. Всегда. К ним приходили, как приходят к прославленному пейзажу или на поклонение в храм» (из предисловия к сб. «Летние травы»).

Чем больше вы знакомитесь с литературой, не имеющей прямого отношения к вашей специальности, в том числе с *истинно* философской и художественной, тем более обостряется ваша способность к значимым открытиям в существе и форме изложения предмета. Чтобы помочь читателю пробудить в себе литературное чутье, приведем небольшую подборку древних (в блистательных переводах В. Н. Марковой) и современных японских стихотворений:

Басё

Старый пруд.
Прыгнула в воду лягушка.
Всплеск в тишине.

Со мной под одной кровлей
Две девушки ... Ветки хаги
в цвету
И одинокий месяц.

Едкая редька...
И суровый, мужской
Разговор с самураем.

Солнце зимнего дня.
Тень моя леденеет
У коня на спине.

Иссё

Видели все на свете
Мои глаза — и вернулись
К вам, белые хризантемы.

Бусон

Жаворонок на заре.
Из-под рукава доспеха
Смотрит самурай.

Исса

Так кричит фазан,
Будто это он открыл
Первую звезду.

О, до чего мне стыдно
Слушать, лежа в тени,
Песню посадки риса!

Кавабэ Коити

Отец подарил мне
Старенький велосипед
Со словами:
Тебе необходимо
Расширять свой кругозор.

Кудзухара Таэко

Если смотреть
Сквозь просвет
В железной решетке,
Кажется, что снег
Идет гуще.

Ода Канкэй

Когда собака из Спутника
Смотрит на мир сверху вниз,
Представляете,
Какое надменное выражение
Написано на ее морде?

Исикава Такубоку

Ладонью
Отирает снег
С лица, запорошенного
метелью,
Товарищ мой,
Сторонник коммунизма.

Мибаси Такадзё

Взгляни в дыру доски:
Луна обрезана ее краями.
О кругозор людской!

Исицука Томодзи

В осеннюю пору
Зубчатые колеса жизни
Разлаженно скрипят.

А вот примеры стихотворений наших соотечественников, представленных на проведенный в 1998 г. издательством «Аргументы и факты» и посольством Японии в Москве конкурс:

Ю. Рунов

Густо валит снег.
В парке три снеговика
И один стакан.

И. Колганова

В новом зеркале
Ищет женщина
Свой прежний облик.

С. Кистерский

Течет меняется
Многое уже произошло
Все по-прежнему

Д. Шекебаев

Мой дедушка — старый
Призывает не баловаться
Видно, сам не может шалить

Надеюсь, читатель простит автору хокку, родившиеся в дни фестиваля японского искусства (Санкт-Петербург, июнь 2006 г.):

Пью зеленый чай.
В стекле дисплея
Отражается Будда.

Лето. Плавятся мозги —
У кого есть.
Иду принимать зачет.

Плачет осенний дождь.
Реформа ЖКХ.
Плачут наши денежки.

Еще реформа — образования.
Как хотели, неизвестно.
Получается — как всегда.

5.5. Редактирование рукописи

Некоторые авторы определяют основной метод науки как «последовательные приближения». К работе над рукописью это относится безусловно. Фотоснимки рукописей Пушкина свидетельствуют об упорной работе и бесконечных переделках. Бюффон свою «Естественную историю» переписывал 11 раз [49]. Каждый вариант рукописи должен пройти три вида редактирования: научное, литературное и техническое. Моральный долг соискателя — самостоятельно провести первый тур всех видов редактирования до представления рукописи руководителю. Как правило, руководитель выполняет научное редактирование «в надзорном порядке», не вникая в детали; затем он выборочно оценивает литературные достоинства диссертации и указывает соискателю типичные ошибки. Большего от руководителя требовать нельзя, поскольку:

- на работу с соискателем ему отводится всего 50 часов в год;
- ответственность за работу несет соискатель;
- руководитель не имеет права переходить границу, за которой начинается соавторство, — хотя бы и литературное.

Соискатель должен исправить указанные ему ошибки *и аналогичные им*, а затем самостоятельно провести еще один тур редактирования.

При **научном** редактировании основное внимание обращается на общее построение и сбалансированность работы, конкретность («пренебрежение философствованием и есть истинная философия» — Б. Паскаль, [124, с. 5]), отсутствие повторов и нарушений логической последовательности. Главная задача соискателя состоит в том, чтобы все время был на виду общий ход его мыслей. Это позволит читателю прорваться через сложную (редко — по необходимости) логику рассуждений, выявить и положительно оценить хорошую идею.

К научному редактированию следует отнести также проверку:

- правильности исходных данных;
- математических выкладок (можно попытаться воспользоваться математическими пакетами — см. разд. 7.7.);
- корректности доказательств;
- правдоподобия, нетривиальности и полноты следствий;
- осмысленности и выразительности графического материала.

Литературное редактирование надо проводить по завету А. П. Чехова: «Искусство писать состоит не в искусстве писать, а в искусстве вычеркивать плохо написанное» [15]. Кроме того, редактирование включает правку синтаксического строя (главным образом путем его упрощения) и орфографии. Последнюю отчасти можно выверить с помощью встроенных в текстовые процессоры средств контроля правописания. Однако не следует полностью на них полагаться: автор лично встретился с предложением *Word*'а заменить термин *мультиканальный* на ... *мультик анальный*.

Основы литературного редактирования научных произведений изложены в книге [222] — скорее монографии, чем учебнике. Она написана для профессионалов и будет трудна авторам, основательно забывшим грамматику и курс литературы. Ее достоинством является наличие упражнений.

Техническое редактирование заключается в проверке соответствия между текстом и рисунками (таблицами), единообразия терминологии, расшифровки аббревиатур и правильности ссылок. Последняя проблема при работе в системе LaTeX решается автоматически. По поводу технических требований к структуре таблиц, содержанию и оформлению рисунков, обозначению единиц измерения см. [73, 223, 241], а также [173, с. 52–57]. Там же описаны корректурные знаки и их применение.

После завершения редактирования выполняется *верстка*: ранжировка заголовков, оптимальное размещение рисунков и таблиц, коррекция переносов, финальная компоновка страниц и рукописи в целом. Затем делаются распечатка, вклейки, проверка комплектности. Наконец, рукопись переплетается.

5.6. Как нельзя писать книги

Согласно А. Г. Рубинштейну [15, с. 177], «Писание — удовлетворение, печатание — ответственность». Приведенные выше рекомендации по написанию квалификационных работ в еще большей степени относятся к многотиражной литературе, в особенности учебной. Здесь ответственность авторов возрастает многократно, но осознается не всеми: «*Природа, по-видимому, мудро позаботилась, чтобы человеческие глупости были преходящими, книги же увековечивают их. Дураку следовало бы довольствоваться уже и тем, что он надоел всем своим современникам, а он хочет досаждать еще и грядущим поколениям; он хочет, чтобы его глупость торжествовала над забвением ... он хочет, чтобы потомство было осведомлено о том, что он жил на свете и чтобы оно вовек не забыло, что он был дурак*» — Ш. Монтескье, [224].

Развал издательского дела в стране одним из своих последствий имел резкое снижение требований к авторам и процессу редактирования рукописей. Для подкрепления вышеизложенного приведем далеко не полный прискорбный перечень, мягко выражаясь, неточностей из «третьего, дополненного, исправленного и допущенного к ...» издания учебного пособия для вузов «Философия» [244], написанного семью — прямо как в страшной сказке! — докторами философских наук. Читая эту книгу, трудно не согласиться с опровергаемым ее авторами Хайдеггером: «Философия — не наука, не мировоззренческая проповедь, а философствование».

1. с. 111. *Надо стремиться преодолевать противоречия ... путем консенсуса, т. е. умелого сочетания личных, групповых, общественных, национальных и общечеловеческих, региональных и государственных и других интересов.*

По этому поводу нельзя не вспомнить столь же содержательные выступления любителя консенсуса М. Горбачева. «Умелое сочетание» — чрезвычайно конструктивный совет! Лично он «сумел» с поразительным эффектом, который мы расхлебываем до сих пор.

2. с. 116. *Человеку, например, свойственны ум, знания, рост, вес, физическая сила, труд, социальные чувства и действия и многое другое.*

Рост, вес и физическая сила присущи не только человеку, а вот ум и знания — далеко не каждому.

3. с. 117. *В химическом взаимодействии алмаз, графит, карбид и уголь суть одно и то же качество, проявляющееся в соответствующих свойствах углерода в специфических химических реакциях.*

Карбид — это не чистый углерод, а его соединение. И ведет он себя в реакциях иначе. Кроме того, отождествлять вещество с качеством неграмотно.

4. с. 186. *Топор, независимо от того, изготовлен ли он из камня, меди или железа, в известных условиях действует с одинаковым эффектом.*

Если бить обухом — то пожалуй.

5. с. 191. *Объективная истина находится в постоянном развитии, становится более полной с каждым новым открытием.*

Меняется не истина, а наше представление о ней.

6. с. 221. *На низших ступенях древнего общества мы видим сравнительно неразвитую личность человека, полностью поглощаемого и унифицируемого родоплеменным коллективом.*

А мы в этой фразе видим описание акта каннибализма.

7. с. 311–312. *Мир техники имеет свои законы развития. Их содержание определяется главным предназначением техники — служить для достижения целей с наименьшими затратами. Таков, в частности, закон симметрии технических объектов... Можно назвать также закон корреляции параметров технических объектов, закон соответствия между его функцией и структурой и др.*

Такие утверждения стыдно называть *законами*. Воистину, «войди в школу, где учат грамоте, и ты убедишься: о чем так надменно вещают философы, все есть в детских прописях» (Сенека, [221, XCIV, 9]). Это

просто попытки примазаться к чужой полезной деятельности. Кстати, именно так оценивает наших «философов» нобелевский лауреат и вице-президент РАН Ж. И. Алферов («СПб. Ведомости», 12.10.2001).

8. с. 373. *Предотвращение мировой термоядерной войны — единственное условие сохранения и развития цивилизации.*

Надо различать необходимые и достаточные условия. К примеру, совершенно реален крах цивилизации из-за «мирной» экологической катастрофы. Серьезными угрозами цивилизации являются также религиозный экстремизм и международный терроризм.

9. с. 380. *Незначительное содержание урана в морской воде при существующих технологиях экономически нерентабельно, однако в будущем вполне реальна его добыча.*

Применительно к *содержанию* урана в природной морской воде понятие рентабельности бессмысленно.

Нельзя оставить без внимания «Введение в современную точную методологию науки» [30]. Оно опровергает свою «точность» уже заявлением о равенстве *суммы значений трех внутренних углов треугольника 360°* (с. 48). Тот же «факт» сообщается на с. 88, но в радианной мере.

На с. 59 заявлено, что *алфавиты языков научных теорий являются не множествами, а мультимножествами, так как они потенциально содержат неограниченное число букв каждого вида.* Здесь понятие алфавита ошибочно подменяется *формулой*.

На с. 239 утверждается, что *для получения скалярного произведения n-мерных векторов нужно найти сумму парных произведений одноименных проекций и извлечь квадратный корень* — корень извлекать не надо!

Все рекорды бьет тезис на с. 154: *Модель Солнечной системы предполагает указание не только имен планет и центрального светила (эта задача была в основном решена уже античной астрономией), но и их действительного взаимного расположения.* — Вряд ли указание *имен* планет можно рассматривать как проблему даже для античной астрономии: назову как хочу!

Несколько заключительных комментариев к разбору этих книг.

- Высокие ученые степени и звания — еще не гарантия качества научной продукции. Потенциальные заимствования оценивайте критически!

- При выходе в смежные и особенно в несмежные области знания соблюдайте предельную осторожность и пользуйтесь советами специалистов. В подтверждение реальности этой опасности сошлемся на книгу В. Пекелиса [168], в которой условием самовозбуждения в процессе диалога вместо положительной обратной связи объявляется отрицательная.

- Основная причина приведенных выше «ляпов» — безответственность авторов.

- Корни этой безответственности в данном случае — «особый статус» так называемых *общественных наук*, в советский период фактически выведенных из зоны действия общенаучных стандартов (с известными последствиями) и до сих пор туда не возвращенных.

К сожалению, небезупречна и техническая литература. В особенности это относится к учебным пособиям и коллективным монографиям, роль титульных редакторов которых ограничивается предоставлением своей фамилии на первую страницу. Обширный набор примеров обнаружился в [129, 130]. Первый том:

1. с. 25. *По оценкам астрономов, Солнце погаснет через несколько миллиардов лет, но по сравнению с возрастом человека это огромный срок: использовано лишь 0.3 % этого срока.*

Нельзя путать возраст человека с возрастом *человечества*.

2. с. 58. *Движение материи обеспечивает транспорт.*

Здесь материя используется как философская абстракция, и получается абсурд. Далеко не каждое движение материи (и не каждой материи) нуждается в транспорте!

3. с. 116. *Необходимым элементом перемещения является наличие дороги.*

Свежая мысль! А как обстоит дело в море и в воздухе?

Этот перечень приходится продолжить цитатами из второго тома:

4. с. 13. *Речь идет об измерении физического состояния сложной системы АТП и ОС. Как найти ключ к этой концепции предков*?

Ни о какой концепции предварительно речи не было. И при чем здесь предки?

5. с. 23. *Где проходят мозг и сердце локальной А-территории*?

Эти биологические аналогии в данном контексте непродуктивны. В любом случае мозг и сердце скорее «находятся», чем «проходят».

6. с. 24. *Это, конечно, песональный (так в оригинале — Ю. Р.) компьютер = Hardware+Software, т. е. железо и программа. Если железо (процессор) — это сердце, то операционная система Windows 95, которая в отличие от предыдущих обладает устойчивостью, живучестью, снабжена так называемой «защитой от дурака».*

Во-первых, ум не может сводиться к защите от дурака. Во-вторых, от таковых, особенно в России, все равно не убережешься, о чем свидетельствует и цитируемая книга. В-третьих, процессор — тоже достаточно умная вещь. В-четвертых, имеется аппаратно (= *железно*) реализованное программное обеспечение (BIOS).

7. с. 34. *Отражательные свойства атмосферы и земной поверхности проявляются таким образом, что только 65% энергии достигают земной поверхности.*

Процент энергии, *достигающей* поверхности, не может зависеть от отражающей способности последней.

8. с. 358. *Насыщение моторизации населения достигается на уровне 400–600 АТС на тысячу человек. Таким образом, автомобиль — искусственное порождение человека — становится сравнимым по значимости с инстинктом продолжения рода.*

По своей бредовости эта фраза даже не перл — бриллиант!

Отдельного разбора заслуживает компьютерная литература, практически вытеснившая с полок магазинов все остальные виды технической. Чтобы избежать упреков в необъективности (автор сам подвизался на этой ниве — см. [205, 206, 207, 208, 211, 212]), приведем выдержки из статьи А. Орлова «Чтение — не лучшее учение» («СПб. Ведомости», 22.08.2002):

> «Основной объем компьютерных книг посвящен премудростям нажимания кнопок и движений мышью. В них можно встретить пространные описания типа: "Задайте шрифт документа. Для выбора шрифта нажмите на слово `Формат` в верхней части окна программы, в появившемся меню нажмите `Шрифт`; в появившемся окне слева перечислены шрифты, которыми вы можете оформить текст, а справа — размеры шрифта, которые вы можете задать". Вдобавок на каждый шаг приведено по снимку экрана на этот момент.
>
> Интерфейс современных систем интуитивно очевиден. Пользователь вполне может понять, что делать, немного поэкспериментировав с системой (и пользуясь `Undo`. — *Ю. Р.*).

Второй разряд книг — это просто бумажная копия справочной системы к программе.

Третий — перегружен не разъясненными специальными терминами и постоянными ссылками вперед и назад».

К перечню излишеств следует добавить и перевод англоязычных терминов — явно избыточный, поскольку знание Computer English читателем «продвинутой» литературы должно подразумеваться.

Ужасающая стоимость таких книг обратно пропорциональна их полезности.

Глава 6

Набор рукописи

6.1. Проблема набора

Априорно диссертанты катастрофически недооценивают трудоемкость оформления. Однако труд настоящего мастера — будь то гравюра Хиросиге, симфония Моцарта или афоризм Шопенгауэра — поражает нас не только отчетливостью главной идеи, но и гармонией деталей. Разработанные теоретические положения нужно описать, а выполненные расчеты — надлежащим образом *оформить*.

> «Многие не любят этого этапа работы, а я люблю. Мне нравится оттачивать терминологию, не спеша и со вкусом обдумывать наиболее изящные и экономичные обозначения, вылавливать блох, засевших в черновиках, вычерчивать графики, оформлять таблицы. Это благородная черная работа ученого — подведение итогов, время полюбоваться собой и делом рук своих» (А. и Б. Стругацкие, «За миллиард лет до конца света»).

Заслуженный деятель *наук и искусств* Карелии проф. В. И. Чернецкий рассказывал автору, что в свою бытность студентом Ленинградского университета он держал в руках диссертацию П. Л. Чебышева — шедевр не только математической мысли, но и каллиграфии.

В наш век на помощь автору приходит ПЭВМ. Однако набор объемного текстового материала (диссертации, отчета, технического описания, статьи, монографии, справочника), насыщенного математическими зависимостями, структурированного и оформленного в соответствии с типографскими стандартами, является серьезной проблемой и требует особого инструментария.

Современные текстовые процессоры полностью обеспечивают набор «разговорных» и деловых текстов, который является их основным назначением (напомним, что *Word* — составная часть системы *Microsoft Office*). Кроме того, в них включены средства *набора формул* — проблемы, решение которой требует особого подхода. Дело не только во множестве символов, не входящих в стандартный алфавит. Язык формул фактически *двумерен*, и важнейшую роль в нем играет относительное положение символов. В качестве примеров этой двумерности укажем дроби (в особенности непрерывные), верхние и нижние индексы, показатели степеней, биномиальные коэффициенты, формулы с вариантами расчетных зависимостей, операторы интегрирования и суммирования, матрицы и системы уравнений. Уплотненность семантики формульных записей вынуждает искать дополнительные возможности облегчения их восприятия. В частности, в этих целях используются управление начертанием (гарнитурой) шрифтов, их типом (прямой, наклонный, курсив), насыщенностью (обычный и жирный), величиной символов, а также регулирование пробелов: дополнительными пробелами окружаются знаки «+» и «−», увеличивается пробел между интегрируемой функцией и дифференциалом. Полезное обсуждение метаязыков математики, логики, химии, биологии и типографские правила набора формул приводятся в [31].

В текстовых процессорах при переходе в математический режим создается *кадр*, внутрь которого из ниспадающего пиктографического меню (группы греческих букв, операций отношения, операций над множествами, стрелок, специальных символов) последовательно переносятся необходимые символы. Для набора составных конструкций (дроби, корни, суммы, произведения, интегралы, матрицы) предварительно вызывается соответствующий шаблон. Достоинством этих процессоров является реализованный в них принцип `wysiwyg`: `What You See Is What You Get`. В процессе набора автор видит появляющиеся «из-под пера» символы и легко устраняет допущенные ошибки. Размер подвыражений и операторов, положение пределов суммирования и т. п. можно корректировать. Тем не менее тонкость настройки набора формул может оказаться недостаточной. Автор убедился в этом, сопоставляя *Word*'овский набор формул этого раздела с их оригиналом. Сам набор из-за необходимости многократных обращений к пиктограммам с помощью «мыши» и невозможности временной корректировки умолчаний для размеров и положения символов идет очень медленно и утомителен даже физически.

Специфические проблемы оформления больших рукописей (нумерация объектов; ссылки на формулы, рисунки, таблицы, страницы и разделы; автоматическое формирование оглавления и включение его в текст) и в этих процессорах в значительной степени возлагаются на автора. Это естественно и неизбежно, поскольку принцип wysiwyg реализуется лишь в *интерпретирующих* системах, а перечисленные выше проблемы могут быть решены только в рамках *многопроходной компиляции*.

В упомянутых целях предпочтительно использование издательской системы LaTeX *программируемого* набора математических текстов. Автора базовой системы проф. Д. Е. Кнута вдохновлял пример великого Эйлера: «... Эйлер также коренным образом изменил математические обозначения. Он побудил печатников Санкт-Петербурга выпускать книги, отвечающие новым, более высоким типографским стандартам» (см. уже упоминавшуюся речь). Вследствие давнего и массового использования высокообразованными людьми, многолетней стабильности и отсутствия у разработчиков коммерческой ориентации, вынуждающей гнать на рынок сырую продукцию, LaTeX и его версии — это надежный и хорошо проверенный инструмент, которому не грозит устаревание. Они стали стандартом математических публикаций практически во всем мировом сообществе и все шире распространяются в России.

В этой главе дается обзор основных средств LaTeX'а, достаточный для того, чтобы заинтересовать читателя и побудить его обратиться к более полной литературе [68, 69, 110, 131, 204, 229].

6.2. Введение в LaTeX

Приведенный ниже пример набора

$$\boxed{\sum\limits_{k=0}^{\infty}\frac{x^k}{k\,!\sqrt{k+1}}=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int\limits_0^x\exp(xe^{-t^2}-t^2)\,dt}$$

получен обработкой следующего текста:

```
\sum\limits_{k=0}^\infty\frac{x^k}{k\,!\sqrt{k+1}}=
\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int\limits_0^x
\exp(xe^{-t^2}-t^2)\, dt
```

Он наглядно показывает простоту и естественность программирования записи формул. Некоторые усложняющие детали в этом тексте для первого знакомства опущены.

Для иллюстрации возможностей LaTeX'а запишем формулу Рамануджана

$$\begin{aligned}
\sum_{y_1=-\infty}^{\infty} \quad \cdots \quad & \sum_{y_n=-\infty}^{\infty} \Bigg[\prod_{1\le i<r\le n} (1-(z_i/z_r)q^{y_i-y_r}) \Bigg] \\
\times \quad & \Bigg[\prod_{i=1}^{n} z_i^{ny_i-(y_1+\ldots+y_n)} \Bigg] \cdot (-1)^{(n-1)(y_1+\ldots+y_n)} \\
\times \quad & q^{n[\binom{y_1}{2}+\ldots+\binom{y_n}{2}]+(y_1+2y_2+\ldots ny_n)} \cdot x^{y_1+y_2+\ldots+y_n} \\
= \quad & [(-xq)_\infty(-x^{-1})_\infty(q)_\infty]\Bigg[(q)_\infty^{n-1}\Bigg[\prod_{1\le i<r\le n}(z_i/z_r)_\infty(qz_r/z_i)_\infty\Bigg]\Bigg].
\end{aligned}$$

Попробуйте набрать ее в *Word*'е с тем же качеством воспроизведения: проклянете все на свете!

Каждая издательская система на базе TeX'а состоит из пакета макроопределений в терминах примитивов этого языка. Все команды для владеющего английским языком мнемоничны, и запоминание используемого в повседневной работе их подмножества не представляет труда. PlainTeX был разработан самим Д. Кнутом, рассматривавшим его как базовую систему и средство широкого обмена алгоритмами. $\mathcal{AMS}$-TeX имеет изощренные средства набора формул, но недостаточные — управления версткой основного текста. Наиболее гармонична разработанная Л. Лэмпортом система LaTeX. Современные реализации системы TeX на персональных компьютерах типа IBM PC в минимальном варианте включают в себя:

- базовые концепции и команды (собственно TeX Д. Кнута);
- набор макроопределений и дополнительных команд, облегчающий их практическое использование для технического редактирования математических рукописей (LaTeX Л. Лэмпорта);
- формирующий `DVI`-файлы компилятор;
- программы вывода на экран и на печать `DVI`-файлов;
- реализацию на ПЭВМ компилятора шрифтов `METAFONT`, разработанного Д. Кнутом.

6.2.1. Структура LaTeX-программы

LaTeX-программа состоит из основного текста и TeXнических команд. Она набирается средствами любого текстового редактора и помещается в файл с расширением `TEX`. Набор не должен содержать переносов, шрифтовых выделений и разбивки на страницы.

С помощью *команд* задаются отсутствующие на клавиатуре ПЭВМ специальные знаки и буквы, производится управление типом и размером шрифтов и размещением текста. Признаком команды LaTeX'а служит обратный слэш \. Команды набираются латинскими буквами, причем *заглавные и строчные буквы различаются*. Команды могут иметь обязательные и необязательные аргументы. Аргументы в фигурных скобках является обязательными. Необязательные аргументы заключаются в квадратные скобки и обычно предшествуют обязательным. На базе «штатных» средств LaTeX'а автор текста может создавать новые команды и переопределять имеющиеся.

Область действия *деклараций* (команд типа смены шрифта, изменения толщины линии и т. п.) ограничивается фигурными или операторными скобками, для которых обязательна парность и допускается многократная вложенность.

В состав системы LaTeX входят служебные файлы — *классы*, определяющие оформление рукописи (компоновку страницы, структуру и шрифты заголовков разделов и т. п.) в зависимости от характера документа. Стандартными считаются четыре класса: `article`, `book`, `report`, `letter`.

Рукопись в целом состоит из преамбулы и собственно документа. В преамбуле обязательна ссылка на стандартный стиль типа

```
\documentclass[12pt]{article}
```

Здесь (в квадратных скобках) использованы и необязательные параметры команды: 12 pt задает кегль (размер) шрифта в пунктах (1 pt = 0.35 мм). Команда

```
\usepackage[russian]{babel}
```

демонстрирует типовую технологию использования расширяющих возможности LaTeX'а пакетов: ссылка на многоязыковую систему `babel` с параметром `russian` заменяет базовую английскую таблицу переносов и ключевые слова типа `chapter` («глава») их русскими аналогами. Отметим, что современная версия `babel` поддерживает несколько десятков языков, в том числе древнегреческий, латынь, арабский, баскский, коптский, хинди и эсперанто. Ниже будут указаны наиболее употребительные базовые пакеты.

Далее могут следовать указания программиста, изменяющие применительно к данному документу стилевые опции (величину полей, размер текстовой зоны, оформление колонтитулов, нумерацию страниц и т. п.). В преамбулу при необходимости включаются определения новых и переопределения старых команд. Действие преамбулы распространяется на документ в целом.

Основной текст работы ограничивается операторными скобками
`\begin{document}...\end{document}`

6.2.2. Набор текста

Текст делится на части командами секционирования вида `\chapter`, `\section`, `\subsection` с автоматической десятичной нумерацией разделов, рисунков, формул и таблиц. Все нумерованные структурные компоненты текста автоматически включаются в оглавление.

При обработке текста компилятор может находиться в текстовой либо математической моде (режиме) и, соответственно, считает разрешенным то или иное подмножество символов.

Новая («ортогональная») схема NFSS выбора шрифтов допускает *раздельное* задание их начертания (`shape`), насыщенности (`series`) и семейства (`family`) — см. табл. 6.1. Каждый из атрибутов, а также размер шрифта можно устанавливать независимо от остальных. Напомним, что *команда* применяется к аргументу, заключенному в фигурные скобки, а область действия *декларации* ограничивается скобками группирования (фигурными или границами окружения). Все они должны быть снабжены обратными слэшами.

Таблица 6.1. Средства выбора шрифтов

Свойство	Вариант	Команда	Декларация
Shape	Upright	`\textup`	`\upshape`
	Italic	`\textit`	`\itshape`
	Slanted	`\textsl`	`\slshape`
	Capitals	`\textsc`	`\scshape`
Series	Medium	`\textmd`	`\mdseries`
	Boldface	`\textbf`	`\bfseries`
Family	Roman	`\textrm`	`\rmfamily`
	Sans Serif	`\textsf`	`\sffamily`
	Typewriter	`\texttt`	`\ttfamily`

Упомянутая ортогональность, к сожалению, не распространяется на *печать заголовков*, для которых в стилевых файлах задан полужирный шрифт Roman разного (в зависимости от их ранга) размера. Для согласования их с набором текста (например, при печати всей книги шрифтом Sans Serif, более насыщенным и лучше читаемым даже на плохой бумаге) необходимо переопределение соответствующих команд из стандартного стиля book и корректирующего «русского стиля».

Укажем области употребления различных шрифтов:

- прямой Roman — для набора основного текста;
- курсив Italic — для логических акцентов;
- машинописный Typewriter — для набора конструкций языков программирования, пунктов меню, команд программных продуктов и т. п.;
- заглавный CAPITALS — для ключевых слов типа ТЕОРЕМА, ПРИМЕР, ЗАМЕЧАНИЕ и т. п.;
- полужирный **Boldface** — для заголовков, не выделяемых отдельной строкой;
- без засечек Sans Serif — для улучшения читаемости мелкого набора (этим шрифтом набрана данная книга).

С помощью деклараций типа \small, \large, \Large автор может задавать локальные изменения *размера* шрифта (мелким шрифтом обычно набираются списки литературы, примеры, частности, исторические обзоры и т. п.).

TEX работает с исходным текстом как с потоком символов, из которых составляет (с жесткими допусками) строки указанной ширины, а из строк — страницы заданной высоты. При невозможности сформировать строку заданной длины автор должен помочь компилятору перекомпоновкой текущего абзаца и/или указанием дополнительных возможностей переноса. Завершение абзаца обеспечивается пробельной строкой (в выходном документе ее не будет).

Специальное оформление текста задается «окружениями»:

- center — центрирование фрагмента;
- itemize — простое перечисление;
- description — перечисление с ключами;

- enumerate — перечисление с нумерацией;

- verbatim — буквальный набор машинописным шрифтом со строгим соответствием размещения текста оригиналу.

Пункты перечислений начинаются командами \item. Окружение ограничивается операторными скобками \begin...\end с указанием после каждой из них (в фигурных скобках) типа окружения.

6.2.3. Процесс сборки

Чтобы иметь возможность сослаться на объект рукописи, его метят произвольной последовательностью символов (комбинации *латинских* букв и цифр, причем регистр имеет значение) с помощью команды \label{<ключ>}. Метки раздела рукописи и таблицы помещаются в их заголовки, метка рисунка — в подпись к нему. Формулу можно пометить только выключную, причем оформленную как окружение equation. Собственно ссылка на помеченный объект организуется командой \ref{<ключ>}. Ссылка на *страницу* с объектом генерируется командой \pageref{<ключ>} и дает номер страницы. Автор должен сам позаботиться о *контексте* ссылки, вставляя слова типа «рис. », «табл. », «формула ( )». При подключении пакета amsmath команда \eqref{<ключ>} скобки вставляются автоматически. Ссылки на библиографические источники имеют вид \cite{<ключ>}. Реализация механизма ссылок требует минимум двухпроходной компиляции.

Список литературы оформляется как окружение \thebibliography, компонентами которого являются записи \bibitem. Записи могут иметь необязательный параметр (в типичном случае — фамилию первого автора и год издания). В процессе компиляции ссылки по ключам замещаются упомянутым параметром, а при его отсутствии — порядковым номером источника.

Для удобства работы с большими документами их главы или разделы оформляют как отдельные файлы. Они включаются в сводный файл после команды \begin{document} операторами вида

\input <имя_файла>

Их отлаживают по одному, вставляя перед командами ввода временно исключаемых из обработки файлов признак начала комментария — знак процента.

6.3. Компиляция, отладка, распечатка

6.3.1. Запуск компилятора

Все файлы, являющиеся объектами компиляции, должны находиться в текущем каталоге. Перечислим стандартные расширения имен файлов, с которыми взаимодействует компилятор LaTeX'а:

- `MAC, TEX, PIC` — исходные файлы пользователя (соответственно макроопределения, основной файл и файл-рисунок);
- `FMT, STY` — форматный и стилевой системные файлы;
- `AUX` — промежуточный файл перекрестных ссылок;
- `TOC` — заготовка оглавления;
- `LOG` — сообщения компилятора с диагностикой ошибок;
- `DVI` — файл набора (результирующий).

6.3.2. Диагностика компилятора

При вводе из нескольких файлов с началом обработки каждого очередного файла выводится его имя. В процессе своей работы компилятор выдает (в квадратных скобках) номера полностью сформированных страниц. В сообщениях об ошибках указываются: строка исходного документа, в которой обнаружена ошибка; диагностика; контекст (место ошибки показано разрывом строки); вопросительный знак.

Перечислим наиболее вероятные ошибки начинающего TeXника:

- опечатки в имени команды или названии окружения;
- непарность открывающих и закрывающих фигурных или операторных скобок, а также ограничителей `$ $` математической моды;
- пропуск обратного слэша у ключевого слова `\begin`, начинающего окружение (аналогично — у завершающего `\end`);
- пропуск единицы длины при указании размера;
- использование греческих букв, индексов, показателей степени, надчеркиваний, команды `\infty` и др. вне математической моды и ошибки в названиях греческих букв `\alpha`, `\theta`, `\phi`;
- замена знака табуляции `&` на `$` или наоборот.

6.3.3. Действия автора при отладке

В интерактивном режиме при обнаружении очередной ошибки компилятор ждет указаний автора, которые выражаются нажатием одной из перечисленных ниже клавиш и последующим вводом:

[Enter] — продолжай работу, попытавшись по возможности исправить ошибку;

[X] — принудительное завершение работы (DVI-файл будет содержать все полностью сформированные страницы).

Кириллический контекст ошибки выводится в DOS-окно в неверной кодировке, а в LOG-файл — в правильной. При большом числе ошибок имеет смысл набрать [X] и попытаться исправить первые ошибки, зафиксированные в LOG-файле: значительная часть диагностики может относиться к *наведенным* ошибкам, т. е. следствиям допущенных ранее. Исправления надо вносить в исходный TEX-файл. Нельзя доверять системе исправление ошибок, связанных с непарностью скобок, — недостающие скобки редко вставляются в правильное место.

Наиболее частое сообщение компилятора `overfull \hbox` говорит о невозможности скомпоновать строку заданной длины. В таких случаях надо помочь системе указанием внутри слова позиций допустимых переносов (`\-`), небольшой перекомпоновкой абзаца, заданием более мелкого шрифта или сокращением названий граф при наборе таблицы.

Обязательным этапом отладки является «подстройка по факту»: коррекция действий автоматики, которая не может предусмотреть все или не справляется с трудными проблемами. Целый ряд ошибок, не диагностируемых компилятором (например, пропуск слэша перед командами `lambda`, `frac`, `sum`, `right` и т. п.), при просмотре становится очевидным.

6.4. Математический набор

6.4.1. Моды и шрифты

Все обсуждаемые в этом разделе обозначения (команды) действуют только внутри *математической моды* — строчной (выделенной одинарными знаками доллара $) и выключной (внутри сдвоенных $$ и окружений `\equation`, `\eqnarray`). Эквивалентом сдвоенных знаков доллара

являются `\[...\]`. Знак препинания, завершающий формулу, в строчной моде следует ставить после $, а в выключной — *перед* выходом из нее.

Греческие буквы набираются их названиями (со слэшем). Большие греческие буквы задаются аналогично с заменой первой буквы названия на заглавную.

6.4.2. Основные математические обозначения

В табл. 6.2 указаны способы набора обозначений основных операций и базовых математических понятий.

Таблица 6.2. Набор основных понятий и операций

Группа	Набор	Операция	Группа	Набор	Операция
Акценты	`\hat z`	$\hat{z}$	Геометрия	`\triangle`	$\triangle$
	`\tilde z`	$\tilde{z}$		`\angle`	$\angle$
	`\dot z`	$\dot{z}$		`\perp`	$\perp$
	`\bar z`	$\bar{z}$		`\top`	$\top$
	`\vec z`	$\vec{z}$		`\circ`	$\circ$
Арифмет.	`\div`	$\div$	Множества	`\cup`	$\cup$
	`\times`	$\times$		`\cap`	$\cap$
	`\cdot`	$\cdot$		`\in`	$\in$
	`\sqrt`	$\sqrt{}$		`\notin`	$\notin$
	`\sqrt[n]`	$\sqrt[n]{}$		`\subset`	$\subset$
	`\pm`	$\pm$		`\backslash`	$\backslash$
	`\ast`	$*$		`\emptyset`	$\emptyset$
	`\vert`	$\vert$		`\oslash`	$\oslash$
	`\Vert`	$\Vert$		`\colon`	$\colon$
Отношения	`\le`	$\le$	Следования	`\leftarrow`	$\leftarrow$
	`\ge`	$\ge$		`\rightarrow`	$\rightarrow$
	`\ll`	$\ll$		`\Rightarrow`	$\Rightarrow$
	`\gg`	$\gg$		`\uparrow`	$\uparrow$
	`\ne`	$\ne$		`\downarrow`	$\downarrow$
	`\sim`	$\sim$		`\prec`	$\prec$
	`\approx`	$\approx$		`\succ`	$\succ$
Логика	`\land`	$\land$	Анализ	`\Re`	$\Re$
	`\lor`	$\lor$		`\Im`	$\Im$
	`\not`	$\not{}$		`\to`	$\to$
	`\iff`	$\iff$		`\partial`	∂
	`\exists`	$\exists$		`\infty`	∞
	`\forall`	$\forall$		`\nabla`	∇

6.4.3. Простейшие формулы

Переменные с индексами и показателями степени набирают как

$$x_1 \quad - \quad \texttt{x_1}\ ,$$
$$u_q^p \quad - \quad \texttt{u_q\^{}p}\ .$$

Порядок указания индекса и степени безразличен. Многосимвольные индекс и степень (количество символов определяется *по изображению*) должны заключаться в группирующие фигурные скобки[1].

Для лучшего выявления логической структуры формулы необходимо регулировать пробелы между отдельными частями ее. Из «спецпробелов» отметим двойной и одинарный математические, обычно используемые при записи условий и диапазонов применения формул (задаются командами \qquad и \quad соответственно), и тонкий (\,), вставляемый между дифференциалом и подынтегральной функцией.

Набор знаков интеграла, контурного интеграла, суммы и произведения обеспечивается командами \int, \oint, \sum, \prod соответственно. Их пределы записываются после знаков подчеркивания и ^ аналогично индексам и показателям степени — см. пример, открывающий разд. 6.2. Предшествующая им команда \limits задает расстановку пределов сверху и снизу (для выключных формул этот режим действует по умолчанию).

Имена стандартных функций и операторов TEX набирает по команде \<имя> *прямым* шрифтом.

В математическую формулу иногда приходится включать фрагменты обычного текста («где», «если», «для всех» и т. п.), которые непосредственно в математической моде компилятор не воспринимает. В таких случаях применяется команда \hbox. Ее аргумент TEX обрабатывает как обычный текст.

Для набора *дробей* в строчных формулах следует применять косую черту — при необходимости с масштабирующей приставкой. Дроби с горизонтальной чертой рекомендуются к использованию только в выключной моде и записываются конструкцией

\frac{<числитель>}{<знаменатель>}.

Например, формула для корней квадратного уравнения $ax^2+bx+c=0$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

задается набором

[1] То же относится к числителям и знаменателям дробей, пределам и т. п.

```
$$ x_{1,2}=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a} $$
```

Круглые, прямые и квадратные скобки стандартного размера набираются обычным способом. *Входящие в набор* фигурные скобки для их отличения от символов группировки представляются в форме `\{,\}`. Левая и правая квадратные скобки могут задаваться непосредственно с клавиатуры, а также командой `\brack` с префиксом `r` или `l` (аналогично фигурные можно задать посредством `\brace`).

При необходимости в скобках определенного относительного размера перед названием скобки записываются прилагательные `\bigl`, `\Bigl`, `\biggl`, `\Biggl` (по возрастанию требуемого эффекта). При записи *правых* скобок l заменяется на r. Если перед открывающей скобкой записать `\left`, а перед закрывающей — `\right`, то размер скобок будет выбран автоматически.

Парность LaTeX контролирует только для скобок группирования и скобок с автоматически регулируемым размером. Парные `left` — `right` скобки должны оказаться в одной строке *набора*. Обход этого ограничения (обычно — для фигурных скобок, объединяющих варианты формул или системы уравнений) достигается вставкой фиктивной парной скобки с указанием `\left.` или `\right.`. Этот же подход (с одиночной прямой скобкой) используется для условия вычисления выражения:

$$\varphi^{(k)}(s)\Big|_{s=0}=(-1)^k f_k, \qquad k=1,2,\ldots$$

Оно было набрано командами

```
$$ \left.\varphi^{(k)}(s)\right|_{s=0}=(-1)^k f_k,
   \qquad k=1,2,\ldots    $$
```

Основной набор выполняется текущим размером шрифта. Непосредственно в формулах разрешается использовать только латинские и греческие буквы. Обозначениям векторов, печатаемых полужирным шрифтом, должна предшествовать команда `\boldmath`. Полужирный курсив вызывается командой `\boldkey`.

Размер шрифта в формулах изменяется командами `\displaystyle`, `\textstyle`, `\scriptstyle`, `\scriptscriptstyle`. Из них две первых по идее определяют один и тот же размер шрифта, но в выключных и строчных формулах соответственно. В отличие от `\displaystyle`, текстовый стиль:

- при отсутствии команды `\limits` помещает пределы интегрирования и суммирования *справа* от символа соответствующего оператора, который набирает несколько мельче;
- числители и знаменатели дробей с горизонтальной чертой набирает в индексном стиле.

Областью действия этих команд являются ближайшие справа подвыражения.

6.4.4. Окружения для формул

Использование окружений любого вида подразумевает выполнение системой некоторых функций автора. Окружение `equation` формирует выключные формулы и автоматически нумерует их. Внутри `equation` нельзя управлять разбивкой информации по строкам. Если такая необходимость возникает, нужно вложить в него конструкцию `array`.

Окружения `matrix` и `array` применяются для набора матриц, окружение `eqnarray` — для форматирования многострочных формул и систем уравнений. Объемлющую их фигурную скобку эти конструкции автоматически не создают. Внутри `array` для набора формул применяется `textstyle`, внутри `eqnarray` — `displaystyle`. Для разделения столбцов матриц и таблиц, а также выравниваемых частей уравнений, применяется знак табуляции `&`. Строка завершается командой возврата каретки `\cr`.

Набор матрицы мы покажем на примере. Чтобы напечатать

$$A=\begin{pmatrix} x-\lambda & 1 & 0 \\ 0 & x-\lambda & 1 \\ 0 & 0 & x-\lambda \end{pmatrix},$$

нужно набрать

```
$$
 A=\begin{pmatrix}{
          x-\lambda &     1     & 0          \cr
          0         & x-\lambda & 1          \cr
          0         &     0     & x-\lambda  }
  \end{pmatrix},
$$
```

Элементы матриц центрируются в столбцах и набираются как формулы встроенного типа.

Бóльшие возможности имеет окружение `array`. При наборе формул это окружение должно находиться внутри математической моды. В фигурных скобках после `array` для каждого столбца указывается позиционирование его элементов (`l,c,r`) — сдвиг влево, центровка, сдвиг вправо соответственно — в столбцах матричного шаблона.

Особенно сложен набор равенств с непрерывными дробями. Здесь приходится пользоваться помещаемыми рядом *мини-страницами* с управляемым вертикальным смещением текста в одной из них.

6.4.5. Макросредства набора

Часто повторяющиеся в данной рукописи (и, возможно, в других работах автора) конструкции имеет смысл оформить в виде *макроопределений*. Применение макроопределений экономит время набора, место в рукописи и время ее отладки, облегчает глобальную корректировку рукописи. Наиболее удобны и гибки в использовании макроопределения с параметрами. Предположим, что в работе часто встречаются коэффициенты, задаваемые однотипными интегралами

$$f_j = \int\limits_0^\infty \frac{(\lambda t)^j}{j\,!} e^{-\lambda t}\, dF(t), \qquad j = 0, 1, \ldots$$

$$b_j = \int\limits_0^\infty \frac{(\lambda t)^j}{j\,!} e^{-\lambda t}\, dB(t), \qquad j = 0, 1, \ldots$$

$$a_j = \int\limits_0^\infty \frac{(\mu t)^j}{j\,!} e^{-\mu t}\, dA(t), \qquad j = 0, 1, \ldots$$

Сопоставляя эти формулы, устанавливаем при общем сходстве их структуры различия: в названии коэффициента; в греческой букве; в имени функции под знаком дифференциала. Ясно, что макроопределение должно содержать три параметра, обозначаемых соответственно `#1`, `#2`, `#3`. Его текст

```
\newcommand{\aj}[3]{$$ #1_j=\int\limits _0^\infty
   \frac{(#2 t)^j}{j\;!} e^{-#2 t} \; d\!#3(t),
   \qquad j=0,1,\ldots $$}
```

включает в себя имя новой команды, число параметров и далее в фигурных скобках — тело макроопределения. Теперь для набора упомянутых интегралов достаточно записать соответственно

```
$\aj{f}{\lambda}{F}$
$\aj{b}{\lambda}{B}$
$\aj{a}{\mu}{A}    $
```

Любимые макроопределения автора имеет смысл собирать в один файл и задавать его ввод в преамбуле очередной рукописи.

6.5. Таблицы

Окружение `tabular` является аналогом `array`, что, в частности, проявляется при диагностике компилятора. Подобно описываемому ниже `picture`, оно формирует отдельную большую «псевдобукву». В общем случае оно не открывает абзаца и не завершает его, но может находиться *рядом* с другой конструкцией и потому требует особой внимательности при использовании. Входящие в книгу таблицы (и рисунки) получают двойную нумерацию: `<номер главы>.<номер таблицы в главе>`. Заголовок таблицы печатается как обычный текст. В зависимости от требований к оформлению слова типа «Таблица 1.1» можно прижать вправо, а заголовок центрировать. Это достигается окружениями `{flushright}` и `{center}` соответственно.

В порядке постановки задачи набора приведем типичный пример таблицы сложной структуры (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Варианты работы № 5

ξ_2^B	ρ	τ	Дисциплина	
			циклическая	FB_N
2	0.7	0.2	1	2
	0.7	0.5	3	4
	0.9	0.2	5	6

Преамбула таблицы помещается в фигурных скобках непосредственно за открывающей ее `\begin{tabular}` и фиксирует основу ее формата: максимальное количество граф, необходимость вертикальных линий между ними, позиционирование (посредством указателей `{r,l,c}`) содержимого граф. Например, преамбула `{|l||c|c|c|r|}` задает окаймленную таблицу из пяти граф, в первой из которых текст прижат влево, в последней — вправо, а в остальных центрирован[2]. Пер-

[2]Буква c должна быть набрана обязательно на латинском регистре.

вая графа отделена двойной линией. Пропуск | исключает вертикальное графление в соответствующей позиции по всей таблице.

Содержимое граф разделяется знаками табуляции &. Локальное смещение содержимого графы относительно заданной в преамбуле позиции можно указать посредством команды \hspace{<длина>} — при необходимости с отрицательным аргументом. Поскольку каждая *клетка* таблицы образует отдельную группу, при включении в таблицу формул придется «внести два доллара» за каждую. Строка завершается \\.

На уровне любой строки можно производить временное слияние граф посредством команды \multicolumn{n}{<формат>}{<текст>}, где n — число объединяемых граф; <формат> — структура объединенной графы в том же смысле, что и в преамбуле таблицы; <текст> — ее заполнение. Этот прием чаще всего используется в «шапке» таблицы. Соединенные графы расщепляются вновь указанием в очередной строке полного числа символов табуляции.

Горизонтальные линии на полную ширину таблицы задаются командами \hline. Для локальных разделителей можно применить команду

\cline {<начальная_колонка>-<конечная_колонка>}

Двойные линии задаются двумя подряд идущими командами \hline. При этом образуются небольшие разрывы в вертикальных линиях.

Ниже приведен набор табл. 6.3.

```
\tabcaption{Варианты работы \No\,5\label{vars}}
\begin{tabular}{|l|*3{c|}r|}
\hline
           &        &
           & \multicolumn{2}{c|}{Дисциплина}      \\
\cline{4-5}
$\xi_2^B$  & $\rho$ & $\tau$
           &        &                              \\[-6pt]
           &        &        &  циклическая
           & $ FB_N$                               \\
\hline
\hline
           &  0.7   &  0.2   &     1     &     2  \\
      2    &  0.7   &  0.5   &     3     &     4  \\
           &  0.9   &  0.2   &     5     &     6  \\
\hline
\end{tabular}
```

Отметим в этом тексте полезный частный прием — указание необязательного параметра (половина размера шрифта) в команде завершения строки, которое позволяет улучшить вертикальное размещение текста в «шапке» таблицы. Более гибким способом является вертикальное смещение фрагмента командой

`\raise<размер>\hbox{<фрагмент>}`

Размер обычно задается в пунктах и может быть отрицательным. В скобки размер не заключается.

6.6. «Графические» проблемы

6.6.1. Средства рисования

Существенными элементами научной публикации являются схемы, графики и диаграммы. В состав LaTeX'а входит набор графических команд, позволяющих *описывать* рисунки типа схем и диаграмм. Пакеты макрооопределений epic и eepic расширяют этот набор. Однако проблема вычерчивания схем проще и естественней решается средствами *Visio*, а построения графиков — с помощью *Gnuplot*. Поэтому здесь мы рассмотрим только включение рисунков в LaTeXническую рукопись.

6.6.2. Средства вставки

Окружение `picture` решает задачи резервирования места, корректировки положения, задания масштабов, оформления подписей. Оно открывается заголовком

`\begin{picture}(w,h)(x,y)`

(в первой паре скобок указаны ширина и высота, во второй — необязательной — смещение влево и вниз соответственно). Выход изображения за объявленные границы не контролируется! *Перед входом в блок* для всех линейных размеров и координат внутри `picture` командой `\unitlength=<длина>` устанавливается единица длины. Она указывается как любая линейная величина в TeX'е и по умолчанию равна 1 pt. Переопределение `unitlength` пропорционально перемасштабирует рисунок, но не затронет толщину линий и размер шрифтов. Переключение толщины линий можно выполнить декларациями `\thinlines`, `\thicklines` (по умолчанию действует первая из них). Непосредственно внутри окружения `picture` могут использоваться только команды размещения графических объектов

```
\put (x,y){<объект>}
\input {<имя_файла>}
```

а также команды изменения шрифтов и толщины линий. Координаты (x, y) определяют положение точки привязки объекта во внутренней системе координат (с началом в левом нижнем углу).

6.6.3. Плавающие объекты

Для размещения таблиц и рисунков можно использовать *плавающие* окружения `figure` и `table`. Положение объектов *внутри* них регулируется применением окружений центрирования и сдвига вправо/влево, командами `\vspace`, `\hspace`. Приведем схему использования `figure`:

```
\begin{figure}[<поз>]
.....................
\caption{<подпись>}
\end{figure}
```

В аналогичном окружении `table` подпись помещается над таблицей. Необязательный аргумент позиционирования может состоять из комбинации букв `h,p,t,b`, задающих соответственно размещение по месту команды («here» — здесь), на отдельной странице, вверху или внизу текстовой страницы. Порядок перечисления компонент фактического параметра указывает предпочтительность вариантов (по умолчанию `[tbp]`). Режимом `h`, в наибольшей степени сковывающим возможности компилятора, следует пользоваться осмотрительно. Кстати, это указание компилятор выполняет не всегда.

Опыт показал, что рисунки и таблицы часто «выплывают» удивительно некстати. Плавающие таблицы и иллюстрации выводятся строго последовательно. Невозможность вывода таблицы в соответствии с заданным атрибутом позиционирования может заблокировать вывод нескольких последующих таблиц и вызвать их скопление в конце главы.

6.7. Обзор LaTeX 2_ε

6.7.1. Общая структура

За многие годы существования LaTeX'а было разработано множество дополнений и расширений, которые часто оказывались несовместимыми. LaTeX 2_ε объединяет все признанные расширения в один формат.

Для него NFSS принята как стандартная, а ранее самостоятельные версии SLiTeX, $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$-TeX являются просто расширяющими пакетами, работающими с единым базовым форматом. Мы ограничимся краткой сводкой, отсылая читателей за подробностями к литературе [16, 69, 70, 110, 131].

В LaTeX'е 2.09 документы имели *стили*, такие как article и book, и *опции* (twoside,epsfig). Они указывались командой

```
\documentstyle[<опции>]{<стиль>}
```

например

```
\documentstyle[twoside,epsfig]{book}
```

Было два типа опций: встроенные (как twoside) и пакеты (подобно epsfig.sty). Встроенные опции могли использоваться только в опиравшихся на них стилях. LaTeX 2ε проводит разницу между встроенными опциями и пакетами посредством новых команд

```
\documentclass[<опции>]{<класс>}
\usepackage[<опции>]{<пакеты>}
```

Команд \usepackage может быть несколько; при указании в одной команде нескольких пакетов перед их списком перечисляются общие опции. Если в командах \usepackage одного документа какой-то пакет упоминается многократно, он будет загружен только один раз. Ошибкой считается только вызов с противоречащими опциями. Опции, общие всем вызванным пакетам, могут быть указаны в команде documentclass. Файлы с описаниями классов имеют расширение CLS, с описаниями пакетов — STY.

LaTeX 2ε принимает в обработку и документы, подготовленные для версии 2.09, распознавая их по \documentstyle или \documentclass.

6.7.2. Стандартные классы

К новым стандартным классам относятся:

- slides — слайды (ранее отдельная версия системы);
- proc — труды конференций, печатаемые в два столбца при суженных полях (ранее — отдельный пакет).

Еще четыре класса обеспечивают потребности разработчиков LaTeX'а и здесь не обсуждаются. Для класса book имеются три новых команды, определяющих структуру документа: \frontmatter, \mainmatter, \backmatter. Первая из них исключает нумерацию глав (практически

Предисловия и/или Введения) и нумерует страницы римскими цифрами. Вторая восстанавливает стандартный режим нумерации. Наконец, третья вновь отменяет нумерацию глав (практически — разделов Приложения).

6.7.3. Стандартные пакеты

Эти пакеты входят в состав дистрибутива системы. Из них:

- `alltt` задает одноименное окружение типа `\verbatim`, в котором знаки \, { и } имеют свой обычный для LaTeX'а смысл;
- `fontenc` определяет выходную (`inputenc` — входную) кодировку шрифтов;
- `graphpap` определяет новые команды для окружения `picture`;
- `latexsym` содержит символы LaTeX'а, которые в новой версии не загружаются по умолчанию;
- `newlfont` и `oldlfont` эмулируют команды управления шрифтами LaTeX'а 2.09 с помощью NFSS.

6.7.4. Дополнительное матобеспечение

Оно также поставляется с дистрибутивом. В него входят:

- `amslatex` — продвинутый пакет средств набора Американского математического общества, включающий пакет `amsmath`;
- `babel` — многоязыковая система набора текстов;
- `graphics` — поддержка вставки и преобразования графических изображений, в том числе цветных;
- `mfnfss` — средства поддержки работы с метафонтовскими растровыми шрифтами, исключая сами шрифты;
- `psnfss` — аналогичные средства поддержки `PostScript`-шрифтов;
- `tools` — различные пакеты перспективного проекта LaTeX3.

Из последней группы перечислим

`array` — расширенные версии окружений `array`, `tabular`, `tabular*`;

`dcolumn` — выравнивание данных в колонках таблиц по десятичной точке (требует `array`);

`delarray` — выставляет «большие ограничители» вокруг массивов (требует `array`);

`hhline` — расширенное управление проведением горизонтальных линий в таблице (требует `array`);

`longtable` — поддержка многостраничных таблиц;

`bm` — набор математических символов жирным шрифтом;

`enumerate` — расширенная версия одноименного окружения;

`indenfirst` — организация отступа в первом абзаце разделов;

`multicol` — печать текста в несколько колонок со сбалансированной длиной;

`theorem` — гибкое создание «теоремоподобных» окружений;

`verbatim` — расширенные возможности буквального набора текста;

`xr` — перекрестные ссылки с «внешними» документами.

Опции соответственно класса или пакета модифицируют их стандартные режимы.

Приведем начальные строки преамбулы, необходимые для набора книги на русском языке шрифтом 10 pt в стандартной кодировке Windows:

```
\documentclass{book}
\usepackage[rusian]{babel}
\usepackage[cp1251]{inputenc}
```

6.8. Введение в MiKTEX

6.8.1. Состав и возможности

Одна из новейших реализаций LaTeX 2_ε — система MiKTeX — удачно сочетает в себе:

- развитый текстовый редактор *WinEdt*;

- компилятор, формирующий DVI-файл с поддержкой многоязычной системы Babel; PostScript- и TrueType-шрифтов; попутной (on-the-fly) генерацией недостающих шрифтов; обеспечивающий вставку подготовленных в различных графических форматах рисунков и преобразование рукописи в форматы PS (PostScript) и PDF. Последнее существенно для придания продукту компиляции большей мобильности (формат PDF читается популярной системой *Acrobat*);

- превьюер YAP, позволяющий просматривать продукт компиляции и выводить его на печать.

Компилятор вставляет в текст особые пометки (src-specials), которые, перейдя в DVI-файл, связывают его строки со строками исходного. Это существенно ускоряет отладку рукописи.

Продукт распространяется на условиях shareware (оплата после месячного испытания) в составе компакт-дисков «Издательские системы на основе LaTeX» и «Научный офис», но может быть скачан непосредственно из архива CTAN.

6.8.2. Редактор WinEdt

WinEdt (далее для краткости WE) — это быстрый, мощный и гибкий текстовый процессор и оболочка для *MS Windows*. Редактор поддерживает ценные для набора таблиц блочно-колонные операции; подцветку ключевых слов и скобок; контроль парности ограничителей и др. WE имеет свыше 500 кнопок и команд, связанных с TeXническими символами, конструкциями, документами и действиями. Он позволяет работать с *DOS* - и *Windows*-приложениями; автоматически сохраняет открытые файлы перед компиляцией; допускает множество настроек.

Окно редактора представлено на рис. 6.1. На нем показана дополнительная панель набора конструкций TeX'а, вызываемая нажатием кнопки $\boxed{\Sigma}$, с раскрытой панелью Math. Ее повторное нажатие убирает панель.

В рабочем поле окна приведены примеры набора математической формулы с применением упомянутой панели и два примера заготовок окружений LaTeX'а. Строка состояния Status Line в нижней части окна отражает информацию, относящуюся к активному документу. Ее панели отвечают на щелчок мыши открытием диалога или переключением функции. Она имеет собственное ниспадающее меню, через которое можно выбрать отображаемые панели (функция Adjust Panel).

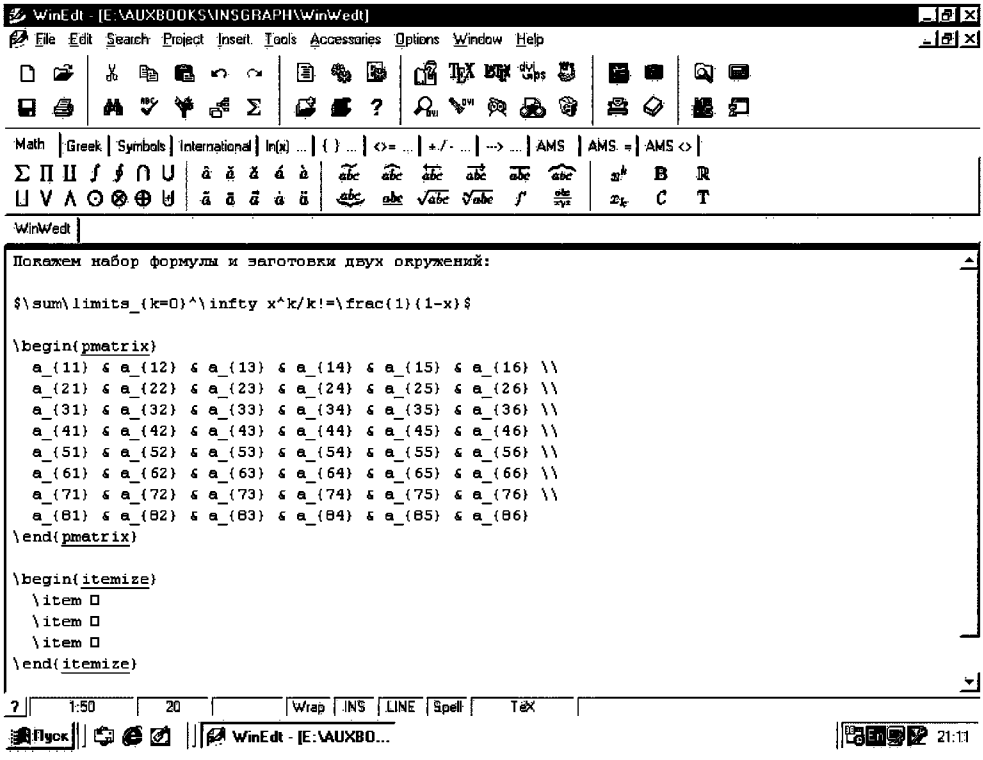

Рис. 6.1. Главное окно редактора WinEdt

Выборочно рассмотрим специфические средства WE, относящиеся к системе в целом.

Project. В разделе `New document` этого пункта меню предлагаются `Text Document`, `ASCII Document`, `TeX Document` и `LaTeX Document` (в вариантах `Article`, `Slides Main`, `Slides`, `Letter`, `Letters`, `Address`).

`Project Manager` позволяет одновременно держать открытыми 999 файлов. WE строит *дерево проекта*, основанное на директивах `input` и `include`. Такие операции, как `Gather`, могут быть применены ко всей совокупности файлов проекта.

Команда `Project/Gather` отображает оглавление сборочного файла и позволяет быстро перемещаться между разделами документа.

Кнопка `Set Main File` делает текущий файл сборочным файлом проекта, а содержащую его папку — рабочей директорией.

Tools. Здесь мы укажем полезную для быстрого исправления ошибок возможность нумерации строк и их переупорядочения. Функция `Complete Word` ускоряет набор, дописывая слова по двум или более буквам (при неоднозначности предлагаются варианты).

Accessories. Команда `Compile Selected` организует компиляцию выделенного фрагмента, что весьма полезно для автономной отладки набора сложных формул и таблиц.

6.8.3. Превьюер YAP

При выводе документов `YAP` («Yet Another Previewer») генерирует все необходимые для отображения `DVI`-файлов шрифты, что замедляет его работу. В дальнейшем такая надобность будет возникать лишь эпизодически и с убывающей частотой.

6.8.4. Набор текста

При заказе в преамбуле *стиля* документа система предоставляет пользователю стандартные поля. Для статьи это будут `title`, `author`, `address`, `email`, `thanks`, `subjclass`, `keywords`, `abstract`.

Раздел меню `Options` (вкладки групп `Preferences` и `Settings`) позволяет: выбрать шрифты из множества `Courier`, `Courier New`, `DfW`, `FixedSys`, `TT Letter Gothic`, `Terminal`; их начертание (обычное, полужирный, полужирный курсив) и размер (от 8 до 72 пунктов). Кириллица поддерживается только для `Courier` и `Courier New`.

Для набора *исходного* текста Редактор использует равноширинный шрифт (не путать со шрифтом выходного документа!). В процессе набора по умолчанию сохраняется начальный отступ предыдущей строки.

Для набора отсутствующих на клавиатуре символов клавишной комбинацией [Ctrl]+[M] вызывается таблица символов. *Двойной* щелчок по выбранному в таблице символу переносит его в позицию курсора, причем таблица не закрывается. Кавычки «елочкой» можно набирать прямо с клавиатуры — удвоенными знаками «меньше/больше».

Команда `Change Case` дает ценную возможность изменения регистра выделенного текста. Для набора и коррекции таблиц, матриц и систем уравнений чрезвычайно полезен *блочно-колонный режим*.

6.8.5. Набор математики

Пункт `Insert` главного меню содержит шаблоны составных LaTeXнических конструкций. Здесь предлагаются:

`cite, ref, label` — для ссылок на литературу и формулы;

`Array (nxm)` (аналогично для матрицы и таблицы) — запрашивается количество строк и столбцов, после чего отображается шаблон с заголовком и символами управления центрированием в колонках, слотами для элементов, разделителями колонок и командами окончания строк; для матрицы по запросу указываются ее имя и диапазоны индексов (нижняя граница — единица), после чего матрица заполняется автоматически;

Σ — окружение `Equation`;

`Cases` — формула с вариантами;

`Itemize` — простое перечисление с тремя заготовками для `item`;

`Description` — аналогично для перечисления с метками;

`Environments` — заготовки для перечислений, математических (`align, align*, matrix, equation, eqnarray`), текстовых (`verbatim, quote, minipage`) и иных (`figure, tabular`) окружений.

Вставки подобных заготовок следует выполнять в режиме `Line`. В блочном режиме место нужно резервировать *предварительно*.

На рис. 6.1 показаны 12 подпанелей панели инструментов, каждая из которых при щелчке по ней разворачивается в набор типичных LaTeXнических конструкций. Щелчок по требуемому символу записывает в позицию курсора LaTeX-команду его набора. О его «долларовом окружении» программист должен позаботиться сам.

При необходимости в специальных атрибутах шрифта (каллиграфический, ажурный и т. п.) фрагмент набора выделяется и щелчком по соответствующей кнопке снабжается нужной TeXнической командой.

6.8.6. Включение рисунков

MiKTeX поддерживает включение рисунков, выполненных в форматах `PCX, BMP, WMF, EPS` (в последнем случае требуется версия *Ghost Script* 6.0 и старше) и ряд других. Предпочтительны *векторные* форматы, сохраняющие качество изображения (в том числе надписей)

при масштабировании и изменении разрешения. Кроме того, следует учитывать и объем файлов с рисунками. Диаграмма распределения Кокса C_2 (две окружности, четыре буквы и несколько стрелок) в формате WMF заняла 8.3 Кбайт, в EPS — 152 Кбайт, в PCX — 22.6 Кбайт, в BMP — 702 Кбайт. Это сравнение явно выигрывает векторный формат WMF.

Вид команды вставки зависит от вызванного командой usepackage графического пакета — см. [70]. При этом как дополнительный параметр пакета (т. е. в квадратных скобках) следует указывать применяемый драйвер (dviwin, dvips).

6.8.7. Компиляция и отладка документа

Компилятор запускается щелчком по иконке LaTeX. Предварительно нужно сделать сборочный файл главным. Все компилируемые файлы должны иметь расширение TEX. В окне хода компиляции русские буквы при описании контекста ошибок даются в неверной кодировке (в LOG-файл все пишется правильно).

На этом этапе полезны выполняемые через меню редактора Tools команды Enumerate Lines и Sort Lines, а также команда перехода к заданной строке из раздела Search либо клавишная комбинация [Ctrl]+[G].

При отсутствии команды \end{document} компиляция завершается выдачей * без формирования DVI-файла. После внесения исправления и перекомпиляции открывается соответствующая страница DVI-файла, причем место правки будет отмечено кружком. При отладке громоздких формул и таблиц сложной структуры есть возможность щелчком по «морде» в панели инструментов запустить на компиляцию *выделенный текст*.

Конечный продукт можно просматривать и печатать в популярной системе *Acrobat*. В последней перед печатью необходимо задать режим Page Scaling None.

В процессе этих преобразований яркость и контраст тоновых рисунков могут существенно измениться. Соответственно приходится корректировать их исходные варианты.

6.9. TeXMaker

Недавно в Интернете появился общедоступный (проект GNU) кроссплатформенный аналог MiKTeX'а, предоставляющий приблизительно те же удобства. Выборочно прокомментируем нетривиальные пункты его меню.

Инструменты содержат типовые режимы генерации и просмотра выходных файлов с закрепленными за ними горячими клавишами.

LaTeX содержит команды набора наиболее часто употребляемых команд преамбулы и ниспадающие меню команд секционирования и окружений, форматирования текста, списков и таблиц, ввода графического материала.

Математика включает команды выделения математической моды, математических окружений, корней, дробей и стандартных функций.

Помощник предоставляет корректируемые шаблоны команд преамбулы, формирования массивов и таблиц.

Текстовый редактор в специальном поле отображает структуру документа, что позволяет быстро переходить к работе с любой частью текста. Оперативные панели позволяют вызывать шаблоны дроби, корня, переменной с индексом и со степенью. Нажатием [Structure] можно вызвать иерархию панелей с командами набора различных групп математических спецсиволов, а также сформировать существенно ускоряющую работу панель `Favorite Symbols`.

Серьезным недостатком редактора является отсутствие блочного режима, незаменимого при переносе в таблицы результатов счета.

6.10. Перевод LaTeX 2_ε ⟶ Word

Косность издательств иногда ставит проблему перевода TeXнических текстов в *Word*. Для ее решения полезен ассоциированный с *Word*'ом текстовый процессор *Grind EQ*, который запускается при загрузке в окно *Word*'а файла с расширением `TEX`. Он может конвертировать в *Word* весь документ или его часть (например, только формулы). В документации декларируется поддержка многоязыковой системы. Продукт перевода сохраняется стандартной командой `Save as ...`

Текущая версия рассматривается разработчиками как экспериментальная и ориентированная главным образом на трансляцию формул. Опыт применения *Grind EQ* показал следующее:

1. Все формулы, в том числе выделенные в тексте «долларами» одиночные латинские буквы, представляются вставками из *MathType* или *Microsoft Equation*.

2. После выключных формул обязательно следуют абзацные отступы.

3. Полужирным шрифтом выделяется только первая строка заголовка.

4. Ссылки на литературу не обрабатываются (номера источников заменяются вопросительными знаками). Вместо «Литературы» получается «References».

5. Коряво представляются таблицы. Двойные линии разграфки заменяются одинарными, не обрабатывается команда `\raise` вертикальной коррекции положения текста.

Эти дефекты без труда устраняются в ручном режиме.

6.11. Gnuplot

6.11.1. Быстрое введение

Gnuplot позволяет визуализировать математические функции и записанные в файлах данные на двумерных и трехмерных графиках. Новейшие версии *Gnuplot* входят в состав системы компьютерной алгебры *Maxima*.

Система управляется интерактивно или командными файлами и предоставляет пользователю уникальный спектр возможностей. На сеточные поверхности и/или плоскость `xOy` можно нанести изолинии уровней. Для плоских графиков имеются различные «стили» — линии, символы, их комбинация, диапазоны ошибок, «импульсы» и т. д. Графики могут снабжаться легендой, размечаться произвольными стрелками и надписями. Допускаются логарифмические оси, управление засечками на осях и их оцифровкой, несколько сопряженных графиков на одном листе.

В процессе работы *Gnuplot* выводит на экран диагностику ошибок. На место ошибки снизу указывает символ `^`. Выход системы определяется типом «терминала» — точнее, выбранным из многих десятков драйвером. По умолчанию устанавливается удобный для отладки драйвер `windows`, выводящий на экран цветную крупномасштабную картинку. После получения близкого к желаемому изображения имеет смысл для работы в LaTeX 2_ε задать один из графических форматов, указать имя ответного файла с соответствующим расширением и выполнить доводку графика в обсуждаемой ниже системе *Visio*. Заметим, что только `EMF`-формат допускает «разгруппировку» рисунка и, соответственно, неограниченные возможности его редактирования. «Способности» выбранного терминала (возможность поворота текстовой строки, пронумерованные для ссылок образцы линий и символов) система демонстрирует по команде `test`.

В связи с ограничениями на объем данной книги мы вынуждены ограничиться лишь беглым обзором системы, отсылая читателя к описанию DOS-версии в [6] и `Help`'у — к сожалению, существующему лишь в алфавитном варианте.

На рис. 6.2 представлено окно оболочки $Gnuplot$ со стандартными «шапкой» и установкой «терминала» (вывод на дисплей), командами смены директории и запуска из нее командного файла. На это окно наложен график, построенный по шести файлам с данными.

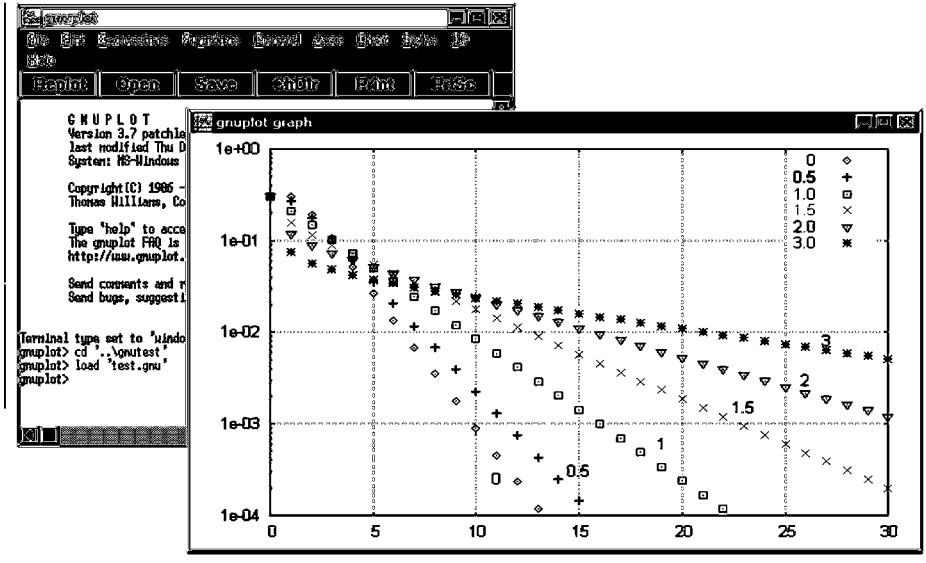

Рис. 6.2. Первое знакомство с $Gnuplot$

В командах $Gnuplot$ строчные и заглавные буквы различаются. Имена команд допускают сокращения, если сохраняется однозначность. В строке может быть несколько команд, разделенных точкой с запятой. Строки в программистском смысле (последовательности произвольных символов алфавита) заключаются в двойные кавычки или апострофы.

Любые аргументы командной строки считаются именами файлов, содержащих $Gnuplot$-команды. Каждый файл загружается командой `load` в порядке следования команд. Имя файла должно быть заключено в апострофы. Если загружаемых файлов нет, система пе-

реходит в режим диалога. Команда может занимать несколько входных строк. Тогда каждая из этих строк, кроме заключительной, должна заканчиваться обратным слэшем.

В этом разделе для совместимости с имеющейся на ПЭВМ документацией по *Gnuplot* сохранены вспомогательные обозначения последней. Фигурные скобки { } означают необязательные аргументы, а вертикальные черточки | разделяют возможные альтернативы. Угловые скобки <...> указывают подлежащие конкретизации аргументы.

Для запроса о помощи набирают команду

```
help {<предмет запроса>}
```

Если таковой не определен, печатается (по-английски) краткое сообщение о *Gnuplot*. После получения ответа на запрос его можно уточнять. Нажатие [Enter] возвращает на предыдущий уровень.

Для возможности пользования Help'ом при описании *Gnuplot* ниже применяются английские наименования его ключевых понятий. Начинающий *GNU*тик для получения общей информации об основной команде системы может набрать help plot.

То, что нам требуется от *Gnuplot*, удобнее записать в файл — к примеру, input.gnu:

```
set terminal emtex
set output 'eg1.pic'
plot [0:10] cos(2*x)*exp(-x/3)
```

Команда plot вывода графика всегда *завершает* командный файл. Ей могут предшествовать команды set, меняющие стандартные режимы. Команда unset с операндом отменяет сделанное ранее изменение.

Затем в командной строке набирается gnuplot input.gnu. Результат будет записан в файл eg1.pic. Выходной файл *Gnuplot* представляет собой описание графика в терминах команд LaTeX'а. Работа с макроопределениями emTeX, EPIC и EEPIC позволяет формировать более компактные описания графиков и делать это с меньшими затратами процессорного времени; DVI-файл также уменьшится в объеме.

Для получения рисунка воспользуемся окружением picture с оператором ввода \input {eg1.pic}. Мы получим график, представленный на рис. 6.3. Как видно из этого рисунка, *Gnuplot*:

- аккуратно нарисовал нам график;
- надписал полученную кривую;

- автоматически выбрал масштаб, полностью использующий отведенное поле;
- сделал засечки на осях и их оцифровку.

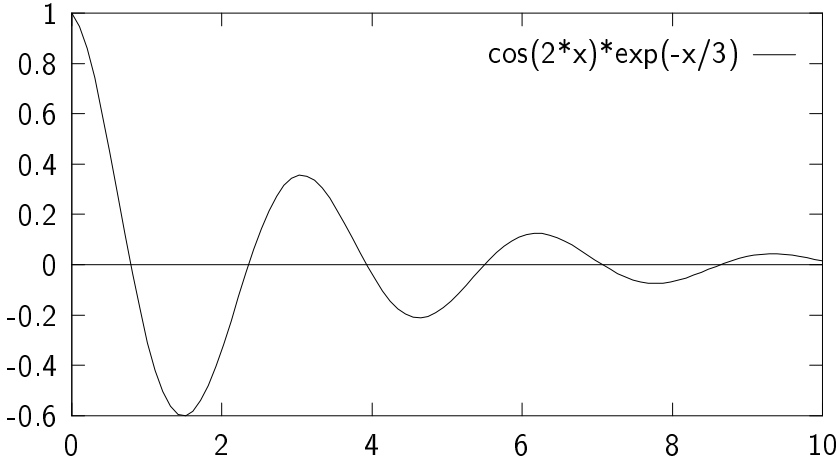

Рис. 6.3. Затухающая косинусоида

Приведенное выше задание далеко не исчерпало способности системы, которая может:

- вводить исходные данные из файлов;
- преобразовывать данные из сферической и цилиндрической систем координат в декартову;
- работать с параметрически заданными функциями;
- строить трехмерные графики с изолиниями уровней;
- изображать несколько кривых в разном «стиле»;
- наносить на графики сетку;
- давать наименования координатным осям и рисунку в целом;
- наносить на график произвольные метки и стрелки;
- корректировать размеры и пропорции рисунка.

Руководство по *Gnuplot* на английском языке доступно в виде DVI-файла. В книге [204] даны извлечения из него, переупорядоченные и дополненные почерпнутыми из опыта наблюдениями и рекомендациями. Здесь мы попытаемся дать читателю представление о возможностях системы.

6.11.2. Вывод кривых

Plot. Команда `plot` воспроизводит двумерные функции и данные, команда `splot` — трехмерные. Обе они имеют одинаковый синтаксис

```
plot {<диапазоны>} <выражение> {<название>} {<стиль>}
                 {,<выражение> {<название>} {<стиль>}...}
```

где <выражение> — определяющее функцию математическое выражение, заключенное в кавычки имя файла с данными, или пара (для команды `splot` — тройка) математических выражений в случае параметрических функций. Практически эти команды могут быть как очень простыми: `plot exp(-x)`, так и весьма сложными:

```
plot [t=1:10] [-pi:pi*2] tan(t),'data.ddt' with points,\
                         t**3 with lines
```

Ranges. По умолчанию *Gnuplot* использует автоматическое масштабирование переменных. Диапазон зависимых переменных, уходящих в бесконечность, определяется наибольшими по модулю конечными значениями. Опция `range` задает область графика, которая будет отображена. Диапазоны, помещенные в одной командной строке с командой `plot (splot)`, влияют только на эту команду. Команды установки `set xrange`, `set yrange` и т. д. меняют диапазоны и для будущих графиков впредь до новой команды установки того же параметра. Синтаксис команды:

```
[{<dummy-var> = }{<xmin>:<xmax>}] {[{<ymin>:<ymax>}]}
```

где <dummy-var> — независимая переменная (умолчания — x и y, но они могут быть изменены командой `set dummy`), а `min`- и `max`-члены могут быть константными выражениями. Оба последних не обязательны. Если задается только диапазон y, для диапазона x предварительно указываются пустые квадратные скобки. Задание диапазонов для функции, определяемой входным файлом, соответственно ограничивает выборку данных по x и/или y.

Примеры работы с диапазонами:

1. Диапазон для независимой переменной t:

   ```
   plot [t=-5:10] cos(pi*t)/(pi*t)
   ```

   (заметим, что системе известно значение π).

2. Диапазоны для x и y:

   `plot [-pi:pi] [-3:3] tan(x), 1/x`

3. Установка только $x_{\max}$ и $y_{\min}$:

   `plot [:20] [-pi:] exp(sin(x))`

Название. По умолчанию название — это имя функции в том виде, как оно появилось в командной строке `plot`. Его можно изменить опцией `title`, которая должна предшествовать любому указателю стиля изображения `with`, — см. раздел о линиях и символах. Текст задается в кавычках, которые на печать не выводятся. Примеры:

1) `splot 'surf.dat' title 'Поверхность параболоида'`

2) `plot x**3 title '$x^3$','data.ddt' title 'Измерено'`

6.11.3. Функции

Dummy. По умолчанию *Gnuplot* считает независимой переменной для команды `plot` букву x, а для `splot` — (x, y). Чтобы записать функции времени с обычным аргументом t, команде `plot sin(t), cos(t)` должна предшествовать команда `set dummy t`.

Стандартные функции. Функции в *Gnuplot* допускают целые, вещественные и комплексные аргументы, если не оговорено иное. Доступны функции Бесселя, гамма-функция, гиперболические синус и тангенс, десятичный логарифм `log10`; натуральный логарифм обозначается `log`. Углы для тригонометрических функций задаются в радианах.

Expressions. Факториал возвращает результат с плавающей точкой. Пробелы внутри выражений игнорируются. Константа `pi` определена на системном уровне. Допустимы логические операции и условные конструкции («тернарные» операторы в стиле языка Си).

Пользователь может самостоятельно задать в командном файле необходимые ему константы и дополнительные функции конструкциями

```
<имя>=<значение>
<имя_функции>(<список_аргументов>)=<выражение>
```

Аргументов может быть не более двух. Эти определения действуют при выполнении текущего задания.

Команда `save` сохранения определений с аргументами из множества {`functions`, `variables`, `set`} позволяет запомнить соответственно определения функций, констант и установок параметров в указанном

программистом файле. Включив в командный файл его загрузку командой `load`, можно восстановить запомненное.

Parametric. Команда установки `set parametric` задает (`set noparametric` — отменяет) параметрический режим. В двумерном случае должны быть заданы $x = f(t),\ y = g(t)$. В параметрической моде для `plot` имеются три диапазона: `trange, xrange, yrange`:

```
plot [-pi:pi] [-1:1] [0:8] sin(t),t**2
```

Polar. В зависимости от задачи удобнее использовать те или иные координатные системы. Чтобы изобразить окружность радиуса r в декартовой системе координат, приходится задавать ее параметрическое описание в форме $x = r*\cos(t),\ y = r*\sin(t)$. Команда `set polar` меняет декартовы координаты на полярные. Независимая переменная теперь — угол, по умолчанию имеющий диапазон $[0 : 2\pi]$. После этого достаточно задать команду `plot r`.

В полярных координатах смысл *выражения* есть $r = f(x)$, где x — угол. Первый диапазон в данном случае задает диапазон изменения угла, а второй — радиуса. График помещается в прямоугольный бокс, оси x и y градуируются в единицах радиуса. Пример:

```
set polar
plot x*sin(x)
plot [0:2*pi] [-3:3] x*sin(x)
```

6.11.4. Линии и символы

Стиль функций. Из многообразных стилей отображения графиков отметим шесть: `lines`, `points`, `linespoints`,`dots`, `errorbars` (соответственно линии, символы, линии и символы, пунктир, допуски). Стиль `points` печатает в заданных точках изображение некоторого символа. Допуски `errorbars` показываются только в двумерном случае в виде наложенного на символ I-образного поля допуска. Стиль `linespoints` изображает символы в точках и соединяющие их линии.

Вид отображения задается в команде `plot` параметрами:

```
with <стиль> {<тип_линии> {<тип_символа>}}
```

где `<тип_линии>` и `<тип_символа>` — положительные целые константы, указывающие тип очередного графика. По умолчанию для кривых на одном графике выбираются последовательные (в порядке задания кривых) номера типов линий и символов. Соответствующую справку можно получить, введя команду

`test terminal <имя_терминала>`

Содержимое файлов по умолчанию распечатывается символами. Перечислим типы символов: плюс, косой крест, а также кружок, квадрат, треугольники вершиной вверх и вниз, ромб (залитые и с точкой внутри).

Команды `set function style`, `set data style` меняют стиль, выбираемый по умолчанию.

Все линии (исключая тип 0 — черные штриховые) на экран выводятся сплошными. Толщина линий, а также фигур, представляющих точки, регулируется необязательным параметром `lw=<linewidth>` (в пунктах). При выводе *на дисплей* нескольких кривых цвет линий можно задать параметром `lt=<linetype>`. Вывод на дисплей в стиле `linespoints` позволяет произвольно выбирать типы (цвета) линий и вид символов. Цвет символа совпадает с цветом линии. При черно-белом выводе на *печать* цвета линий представляются изменением структуры последних: сплошная, штриховая, пунктир, штрих-пунктир и т. д., причем увеличение толщины превращает все линии в сплошные.

Примеры команд:

1. Печать x/y символами, $x**2+y**2$ по умолчанию:

   ```
   splot x/y with points, x**2+y**2
   ```

2. Печать $\tan(x)$ стилем `lines` по умолчанию, таблицы из файла 'data.d' символами:

   ```
   plot[ ] [-2:2] tan(x), 'data.d' with points
   ```

3. Печать 'exper.dat' с допусками и линиями, соединяющими точки (файл должен содержать три или четыре колонки данных):

   ```
   plot 'exper.dat' with lines, 'exper.dat' with errorbars
   ```

4. Печать графиков $\sin(x)$, $\cos(x)$ линиями с символами, используя общий тип линий, но разные символы (стиль линии должен задаваться раньше стиля символа):

   ```
   plot sin(x) with linespoints 1 3, \
        cos(x) with linespoints 1 4
   ```

5. Печать файла 'data' символами типа 3:

   ```
   plot 'data' with points 3
   ```

6.11.5. Файлы данных

Дискретные данные для вывода на график могут храниться в файлах по одному в строке. Для `plot` они записываются двойками `(x,y)`, для `splot` (трехмерная картина) — тройками `(x,y,z)`. Числа в каждой строке данных должны быть разделены пробелами на колонки. Пустые строки в файлах данных вызовут разрывы в графиках.

6.11.6. Оформление графика

Размер. Размер рисунка, подготовленный *Gnuplot* для печати, по умолчанию равен 5×3 дюйма (включая подпись). Изменить размеры рисунка и при необходимости его пропорции можно командой

```
set size {<масштаб x>,<масштаб y>}
```

Окантовка графика, выполняемая по умолчанию, может быть отменена по `set noborder`.

Логарифмический масштаб задается командой

```
set logscale <оси>
```

Применение логарифмической шкалы не требует предварительного преобразования вида отображаемой функции или запасенной в файле таблицы ее значений. Количество делений шкалы зависит от ее линейного размера (практически — от числа отображаемых порядков). Если порядков не более четырех, засечками отображаются все целые промежуточные точки (от 2 до 9). Границы рисунка всегда соответствуют целым значениям порядка.

Менять количество засечек на логарифмической шкале нельзя. Применяемый по умолчанию формат оцифровки можно заменить на чисто экспоненциальный командой `set format y '%.0e'`.

Засечки по умолчанию делаются *внутрь* со всех четырех сторон. Для изменения направления засечек можно применить команду `set tics out`. В этом случае засечки будут размещены только внизу и слева.

Сетка. Возможный режим `grid` строит через засечки сетку из линий того же типа, что оси. Отмена засечек автоматически снимает соответствующую компоненту сетки.

Стрелки. С помощью команды `set arrow` на график наносятся произвольные стрелки. Синтаксис команд управления стрелками:

```
set arrow {<метка>} {from <sx>,<sy>{,<sz>}}
                    to   <ex>,<ey>{,<ez>}}{{no}head}
set {noarrow} {<метка>}
show arrow
```

Значения x,y,z — координаты на графике; s — начало; e — конец стрелки. Не заданные координаты по умолчанию считаются нулевыми.

Стрелка может быть помечена целым числом. Тогда ее можно удалить или изменить в процессе редактирования рисунка.

Надписи. В пояснительных надписях к осям, кривым и стрелкам, равно как и во всех прочих надписях, допускается использование кириллического алфавита. В сформированный *Gnuplot* на языке LaTeX'а «картинный» файл при необходимости можно внести произвольные изменения вручную. Команда

```
set label {<метка>}{'<текст>'}{at <x>,<y>{,z}}{<позиция>}
```

позволяет нанести на график произвольный текст. Координаты задаются в системе графика. Числовая метка позволяет сослаться на текст и при необходимости изменить его. Позиция (left, right, center) указывает положение опорной точки относительно текста.

Ключи кривых. Ключ состоит из названия кривой и образца линии или символа, которым печатается соответствующий график. Ключи по умолчанию помещаются в верхнем правом углу графика. Они описывают вид линий, которыми изображены разные функции, и печатаются один под другим. Название функции берется из команды plot. Ключ можно задать произвольно в параметре title команды plot.

Приведем пример командного файла, использующего описанные средства для построения в полулогарифмическом масштабе графиков трех кривых по табулированным в файлах данным:

```
set terminal latex
set output 'probmg1.pic'
set logscale y
set grid
set key 2.3,0.00046
plot [0:25][1e-6:1] 'v0.res' title 'v=0' with lines,\
                    'v1.res' title 'v=1' with lines,\
                    'v2.res' title 'v=2' with lines
```

6.12. Visio — инструмент для схем

6.12.1. Общая характеристика

Важным элементом в работе инженера и организатора является проектирование разноообразных *схем* — организационных, структурных, маршрутных, логических, функциональных, электрических и т. п. Если изображение предмета дает представление лишь о его внешнем виде, то схема вскрывает глубинные, сущностные отношения, которые могут быть описаны на языке знаков (сравните фотографию телевизора и его схему). Общей особенностью схем является наличие некоторого типичного для каждой предметной области *набора стандартных элементов* (для примера сошлемся на схемы алгоритмов). Схема составляется из нужной последовательности элементов, снабженных дополнительными надписями и соединенных стрелками или ненаправленными связями. На каждом уровне разработки используют свой язык и системы обозначений. Например, в техническом предложении применяют языки кинематических схем и теории механизмов и машин, а на этапах эскизного и рабочего проектирования — языки деталей машин, сопромата, проекционного черчения, основ взаимозаменяемости [121].

Разумеется, вычерчивание схем возможно средствами любого графического редактора или универсального текстового процессора класса *Microsoft Word*. Однако в указанных целях гораздо удобнее воспользоваться системой *Visio*. В ее составе имеются свыше 50 трафаретов (`stencils`), ориентированных на весьма разнообразные применения[3]. Различия в новейших версиях *Visio* несущественны.

Для создания рисунка организуется проект (`solution`). Каждый проект состоит из шаблона (файла, используемого как контейнер для фигур), рабочих страниц и используемых инструментов (одного или нескольких трафаретов). Трафареты сгруппированы в папки, объединяющие их по общности применения. Их обзор будет дан в следующем разделе.

Отдельного упоминания заслуживают наборы трафаретов, впервые появившиеся в пятой версии пакета. Здесь нас будут интересовать:

1. IDEFO-диаграммы системотехнического проектирования, показывающие вклад в процесс каждой функции или структурного подразделения организации. Возможны иерархии и различные уровни детализа-

[3]Значительно больший набор трафаретов входит в состав *Visio 5* — профессиональной и технической версий.

ции — от карты мира до электрической схемы блока. Листы могут быть связаны гипертекстовыми ссылками. Имеются средства построения и обработки графиков Ганта и PERT-диаграмм.

2. Инструментарий для документирования объектно-ориентированных технологий программирования: представления классов и отношений между ними («наследует», «имеет», «использует»); структурных схем процессов (последовательность, ветвление, циклы); диаграмм потоков данных; диаграмм состояний, взаимодействия и переходов; моделей структуры (составных частей системы и их взаимодействия) при наступлении *событий*. Отметим наличие средств работы с базами данных, составления спецификаций, подсчета площади помещения, стоимости комплектующих деталей.

Уже этот обзор должен заинтересовать инженера практически любой специальности. Разумеется, полнота никакого из наборов не гарантируется (в частности, для электрических и электронных схем, устройств связи и радиолокации, кинематических и гидравлических схем она явно недостаточна). Однако имеются средства и технологии создания новых трафаретов. Адаптация системы к специфическим потребностям диссертанта позволит с успехом использовать удобный системный интерфейс *Visio* и в новых областях «схемотехники» в самом широком смысле.

Примеры продукции *Visio* — приведенные в этой книге схемы математического моделирования и алгоритма имитационной модели.

Возможности *Visio* в области *научной* графики ограничиваются средствами *Excel*. Но в области «своей компетенции» *Visio* незаменима.

Visio является полноценным *Windows*-приложением, совместимым с наиболее популярными системами сходного назначения (*Word*, *AutoCAD* и *CorelDRAW*). Имеется обширный набор фильтров для преобразования графических форматов; поддерживаются механизм связывания OLE-2, обмен рисунками по e-mail, работа с Интернетом.

Технология работы, содержание меню, состав панели инструментов и назначение «горячих клавиш» максимально приближены к принятым в продуктах *Microsoft Office*. Ценным достоинством *Visio* является возможность изготовления *крупномасштабных плакатов*, склеиваемых из выводимых на принтер листов стандартного формата А4.

Приведем необходимые базовые определения *Visio*:

Фигура (`shape`) — базовый графический элемент, из комбинации которых создается схема (`drawing`).

Трафарет (stencil) — совокупность базовых элементов, объединяемых общностью предметной области.

Стиль (style) — совокупность форматов (размер шрифта, толщина, тип и цвет линий, заполнение), поименованная и сохраняемая со стандартом или схемой.

Стандарт (template) — файл, содержащий стили и установки для некоторого вида схем и открывающий соответствующие трафареты. Создание новой схемы начинается с вызова трафарета или стандарта.

6.12.2. Меню и панель инструментов

Познакомимся с окном рисования схем — рис. 6.4. Верхняя его часть содержит обычные пункты *Windows*-меню и панель инструментов, комбинирующую стандартные средства *Microsoft Word* и *Paint*. Кнопки (иконки) панели сгруппированы по близости задач. Значительная их часть связана с возможностью выбора решений из ниспадающих меню; такие иконки отмечены треугольничками. При задержке на кнопке панели указателя мыши появляется поясняющий функции кнопки ярлык, что избавляет нас от дополнительных комментариев.

В левой части окна представлен заказанный при входе трафарет (зеленый фон) с набором стандартных фигур и соединителей. Щелчок [RM] по фигуре открывает меню, с помощью которого можно запросить назначение фигуры и демонстрацию ее соединительных точек.

С помощью меню File или кнопок панели можно выбрать один из трех основных режимов работы: новые файлы для схемы либо трафарета или открытие ранее созданной схемы. Нас будет интересовать в основном первый режим — рисование схем. В этом случае следует начинать с выбора соответствующей предметной области. Выбор File/Stencils открывает доступ к каталогу трафаретов; в некоторых случаях заказанный трафарет можно просмотреть в дополнительном окне. Щелчок по иконке в заголовке трафарета открывает окно управления им (можно выбрать положение трафарета относительно рисунка и способ представления фигур). При задержке указателя мыши на выбранной фигуре появляется «баллон», поясняющий (по-английски) назначение фигуры; щелчок по заголовку трафарета открывает возможности сворачивания, редактирования и закрытия трафарета. В последнем случае можно выбрать новый трафарет.

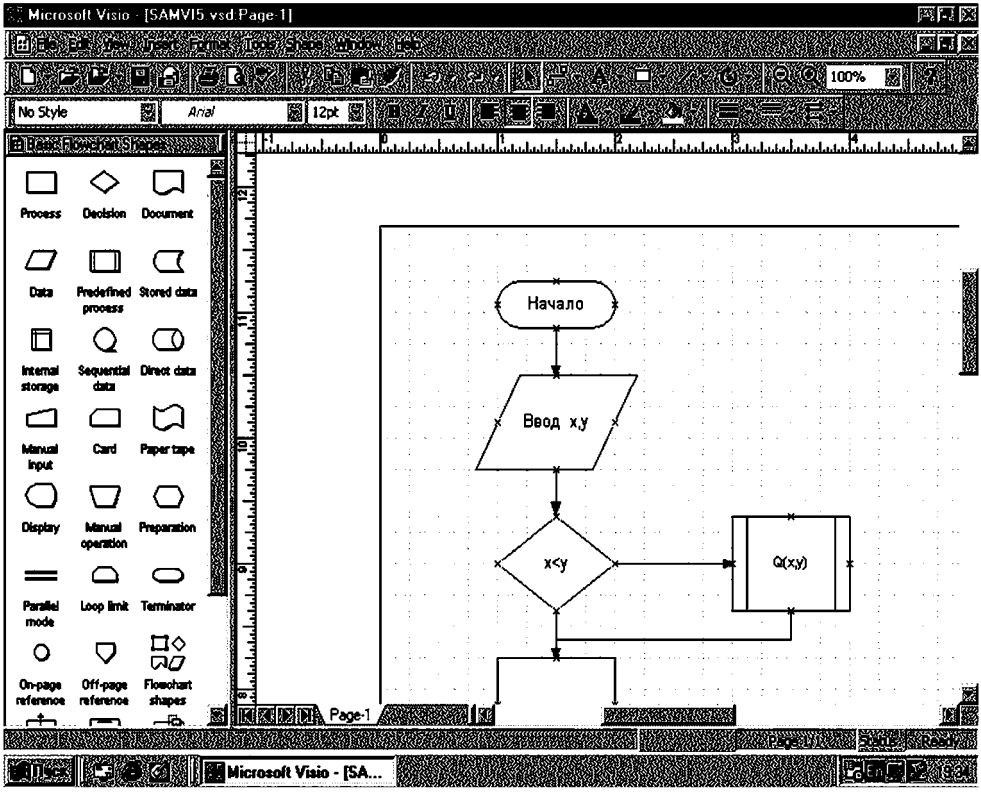

Рис. 6.4. Окно системы *Visio 2000*

Раздел `View` управляет масштабом изображения. Здесь же можно управлять видимостью управляющих панелей `Toolbars` (рекомендуется выводить `Standard` и `Format Text`) и информационных окон. Среди последних отметим `Size & Position`, позволяющее считывать размеры и координаты фигуры.

В данном разделе имеются также режимы: `Ruler` — обрамляющие рисовальное окно линейки с миллиметровыми шкалами; `Grid` — задание сетки для рисования (на печать не выводится); `Guides` — направляющие, к которым можно прикрепить некоторые фигуры, чтобы в дальнейшем передвигать их совместно; `Connection Points` — показ точек соединения фигур (при мелкомасштабном изображении сложной схемы его лучше отключать).

Раздел `Windows` управляет расположением вызванных окон.

Меню Insert позволяет вставить ранее выполненный рисунок (открывается доступ к поддереву каталога с возможностью поиска), картинку из ClipArt, вызвать установленное на вашей ПЭВМ средство набора математического выражения (Microsoft Equation, MathType), Microsoft Graph или Object из раскрываемого списка.

Меню Format открывает доступ к панелям редактирования:

- текста — шрифт, размер, case (все заглавные, начальная заглавная, «small caps»), положение, начертание (обычный, подчеркнутый, полужирный, курсив), интервал между буквами;
- текстового блока — прозрачный или непрозрачный с выбором цвета подложки;
- линии — структура, толщина, цвет, окончания;
- заливки — структура (41 вариант) и цвет;
- оттенения — аналогично заливке.

Здесь же можно выбрать один из ранее созданных *комплексных стилей* или определить новый.

В меню Tools отметим подлежащие дальнейшей детализации команды Align выравнивания и Distribute — равномерного распределения фигур.

Меню Shape содержит команды управления *слоями* рисунка (каждый из них имеет лицевую страницу и подложки), вращения рисунка и отдельно текста, группировки фигур для совместных действий над ними и операций над совокупностью фигур.

Меню Help открывает доступ к структурному и алфавитному справочникам. Справка выдается в гипертекстовом формате; при необходимости можно запросить пример — очень наглядную графическую иллюстрацию.

Панель инструментов наряду с типовыми кнопками *Windows* содержит ряд специальных: открытие каталога трафаретов (зеленая папка) и — правее кнопки указателя — «рисовальные» инструменты, режимы которых перечисляют ниспадающие меню:

- соединитель — соединение фигур, назначение точки соединения и штамп (средство тиражирования выбранной фигуры);

- `текст` (с буквой A) — переход в режим набора текста и вращение текста;
- `прямоугольник` — прямоугольник и эллипс с изменяемым соотношением сторон (осей);
- «`чертилка`» — изображение прямой, дуги окружности, свободной кривой, «карандашной» кривой (с возможностью управления кривизной);
- `вращение` — поворот фигуры вместе с текстом на произвольный угол и вырезание (`Crop`) части изображения.

Кнопки нижней части панели дублируют наиболее употребительные команды меню редактирования текста, линий и заливки и при необходимости открывают доступ к полному спектру возможностей.

6.12.3. Начало работы

Перед открытием (`Open`) ранее созданного файла со схемой в окне `Preview` можно видеть ее уменьшенное изображение (для многостраничного файла — первую страницу). При работе с новым файлом в левой части на зеленом фоне открывается предварительно выбранный трафарет, а в правой части на голубом фоне — разграфленное в клеточку белое поле для набора схемы.

Набор производится перетаскиванием выделенных щелчком фигур из трафарета в нужную позицию поля при нажатой [LM]. Трафарет защищен от изменений, так что его содержимое не оскудевает.

Нестандартные фигуры автор «рисует» с помощью одного из графических инструментов. Затем фигуры соединяются рисуемыми линиями или автоматически (вызовом соединителей), и в них впечатывается текст с помощью входящего в *Windows* набора шрифтов. На нижней рамке экрана (`Status bar`) отражается оперативная информация: размер и координаты фигур, угол выполняемого поворота и т. п.

Для предварительного набора блоков и выравнивания схемы в целом удобно представить на экране полную страницу стандартного листа (`Whole Page`), что соответствует масштабу порядка 25 % (см. ниспадающее меню в верхней правой части окна). Мешающее восприятию мелкомасштабных схем изображение соединительных точек можно отключить через меню `View/Connection Points`. Режим `Page Width` обеспечивает показ полной ширины листа. Реальный (100 %) и

более крупные масштабы применяются для вычерчивания нестандартных фигур, набора текста и разного рода доводок.

Единицы измерения для страниц и фигур, шрифтов, углов и временны́х интервалов можно менять через меню Tools/Options или в File/Page Setup.

6.12.4. Выбор трафарета

Выбор трафарета открывается щелчком по кнопке с зеленой папкой (Stencils). При выборе одного из них сообщается назначение трафарета. Перечислим их группы, сохраняя для удобства работы с системой английские названия комплектов и отдельных трафаретов и отмечая наиболее интересные возможности.

Block Diagram — три комплекта геометрических фигур, стрелок и соединителей в большом числе вариантов: основной набор, с оттенением и с объемной перспективой. Имеется богатый комплект стрелок, концентрических окружностей, секторов и кольцевых сегментов.

Database Diagram — комплекты фигур с соединительными элементами, удобные для рисования структур баз данных.

Flowchart — элементы, потоки информации, этапы обработки данных и принятия решений в информационных системах; элементы схем алгоритмов.

Forms and Charts. Трафарет Charting Shapes содержит заготовки столбчатых и секторных диаграмм; имеются экспоненциальная и нормальная кривые с возможностями их деформации (качественной). В трафарете Form Shapes предлагаются фрагменты сетки с регулируемым числом делений, логарифмическая сетка. Заслуживает внимания специфический Marketing ClipArt: нефтяная бочка («баррель»), дойная корова, фабрика, финансовое учреждение, знаки популярных денежных единиц. В трафарете Marketing Diagrams представлены матрицы, треугольники, пирамиды, круговые стрелки, диаграммы Венна.

Internet Diagrams содержит два трафарета. В Conceptual Web Site находятся фигуры для представления страниц, шлюзов и динамических связей, в Web Site Map Shapes — средства изображения схемы сайта (форматы, протоколы, скрипты, рисунки и т. п.).

Maps — географические карты (контуры континентов и отдельных стран, важнейшие реки и озера, средства изображения дорожной инфраструктуры. В трафарете `Landmark` представлены: «достопримечательность», река, озеро, парк, бензозаправка, госпиталь, железнодорожная станция, аэропорт, небоскреб.

Network Diagrams — элементы сетей связи и компьютерных сетей: устройства ЭВМ; малые и большие ЭВМ разных типов; типичные сетевые структуры; антенна спутниковой связи и сам спутник.

Organization Chart дает средства изображения диаграмм занятости, человеческих ресурсов, структуры управления персоналом (менеджер, консультант, ассистент, штат, команда).

Project Shedule предоставляет инструменты для изображения календарей, графиков Ганта, PERT-диаграмм.

Software содержит большое число трафаретов для рисования блок-схем и структурных схем технологий объектно-ориентированного программирования.

Visio Extras предлагает многоугольники, эллипсы и другие фигуры широкого применения; дуги, сектора и кольца; стрелки с головкой в середине линии; логарифмическую сетку; элементы фигурных рамок и заполнителей для орнаментов и фона рисунка; соединители; набор картинок *ClipArt* («human relations», такси, автобус, самолет, багаж, «правительство», цель, блокнот, компьютер, будильник, «большой день», «мозговой штурм», «летящее время» и т. п.).

Некоторые трафареты входят в несколько папок. Можно открыть несколько трафаретов одновременно; они будут расположены рядом или с наложением. В последнем случае сохраняется доступ к заголовкам всех трафаретов и, следовательно, возможность активизации любого из них. Щелчок по трафарету правой кнопкой мыши вызывает панель управления, позволяющую закрыть трафарет, редактировать его, сохранить измененный, переместить трафарет относительно рисунка.

6.12.5. Выполнение схем

Под фигурами понимаются копии заимствованного из трафарета изображения (`master shape`), а также нарисованные «панельными»

инструментами линии, прямоугольники и эллипсы. При первичном формировании схемы пользуются стандартными параметрами фигур и «чертежных инструментов» — например, заданной толщиной линий, откладывая все изменения (кроме формы и размера) до этапа редактирования.

Копирование из трафарета. Для копирования мастер-фигуры нужно щелкнуть [LM] по ее изображению в трафарете и, удерживая кнопку нажатой, перенести в нужное место рисовального окна. Сохранение оригинала при этом гарантируется.

Рисование фигур. В этом разделе речь пойдет о создании авторских изображений. Каждое такое изображение составляется из фигур ранее заготовленных и из рисованных. Рисовальные инструменты закреплены за кнопками панели инструментов (карандаш, прямая, дуга, произвольная кривая, прямоугольник и эллипс). При рисовании горизонтальных, вертикальных и 45°-ных линий держите нажатой [Shift].

«Карандашом» можно рисовать произвольные фигуры. Дуги, изображаемые через `arc tool`, являются частями эллипса, «карандашными» дугами служат части окружности. Для рисования линии надлежит:

1) выбрать инструмент;

2) отметить на схеме начало объекта;

3) прочертить объект (указатель мыши будет перекрестием);

4) отпустить кнопку мыши.

С новым нажатием кнопки мыши можно сменить направление движения инструмента. При изображении дуги окружности сначала прочерчивается «карандашом» стягивающая ее хорда, а затем оттягиванием центральной точки формируется собственно дуга. При изображении разомкнутой фигуры из многих сегментов (например, ломаной прямой) начало очередного сегмента отмечается щелчком [LM].

Для представления эллипсов и прямоугольников обычно можно использовать элементы трафарета. Круг и квадрат рассматриваются как соответствующие частные случаи; для их получения при вычерчивании следует удерживать нажатой клавишу [Shift].

Рисование фигуры заканчивается нажатием [Esc] или щелчком [LM] вне фигуры.

Набор текста. Для набора текста выделите фигуру, войдите в текстовый режим нажатием кнопки $\boxed{\text{A}}$ или [F2] и начинайте набор.

Инструменты текстовой панели появляются только после выделения текста или выхода в режим его набора.

Набор надписей мы рекомендуем выполнять шрифтами без засечек с кириллицей, например `Arial Cyr 204`. Стандартно установленная гарнитура шрифта `Arial 204` не содержит кириллических букв, так что шрифт приходится корректировать при «надписывании» *каждой* фигуры схемы. Самый простой выход — запасти в рабочем поле по одному экземпляру типовых элементов схемы и занести в них произвольные надписи при нужном размере и типе шрифта. После удаления надписей настройки шрифта сохранятся. Далее полученные заготовки тиражируются и расставляются по местам.

Изменение размеров шрифта возможно как непосредственной установкой величины его кегля в ниспадающем меню, так и нажатием кнопок панели с большой или малой буквами **A** соответственно.

Для набора *отдельных* математических символов применяется шрифт `Symbol` (о наборе формул речь пойдет ниже). Самые разнообразные и неожиданные запросы можно удовлетворить посредством `Dixieland`, `Signs` и `Wingdings`. Через меню `Insert` возможны вставки из *ClipArt*, *Microsoft Equation*, *AutoCAD*, *Microsoft Graph*, а через подпункт `Object` — и многие другие варианты.

Выделенный текст модифицируется кнопками «Прямой», «Курсив», «Подчеркнутый», «Полужирный», через меню `Format/ Text/Font` может переводиться в положение верхнего либо нижнего индекса. Здесь же можно корректировать поля между текстом и границами блока и выравнивание текста внутри него, метки при элементах перечней. При работе с текстом увеличение автоматически устанавливается 100%.

При надписывании стрелок и простановке номеров блоков, выбрав в меню `Format/Text/Text Block` установку `Solid Color` и *белый* фон, мы обеспечим непрозрачное наложение надписей на ранее проведенные линии, фон или штриховку фигуры.

Автономные надписи. Будем называть автономной надписью текст, помещенный на схему вне фигур. Такой текст набирается в невидимом боксе аналогично «вложенному». Положение и ширина блока могут быть заданы после входа в текстовый режим протаскиванием мыши. Автономный текст также можно вращать. Тем самым *Visio* предоставляет редкую возможность расположить надпись по вертикали.

Набор формул. Набор сложных формул (например, для изготовления плакатов) удобно выполнить средствами *Microsoft Equation*. Для этого из меню `Insert` нужно вызвать `Equation`. После нажатия [OK]

откроется окно редактора формул с панелями символов и математических шаблонов.

Набранная формула записывается в текстовый блок и в дальнейшем может перемещаться, корректироваться и тиражироваться по стандартной технологии. Вставку из *Microsoft Equation* система текстовым блоком не считает; соответственно, организовать ее непрозрачное наложение нельзя.

6.12.6. Редактирование фигур

Все операции над ранее созданными объектами производятся после их *выделения*. Для выделения выбирают инструмент «указатель» (наклонная стрелка) и щелкают мышью внутри фигуры. При последовательном выделении *нескольких* объектов нужно удерживать нажатой [Shift]. Несколько объектов можно выделить также, обведя указателем при нажатой [LM] прямоугольную зону их расположения. Наконец, в меню `Edit` имеется команда `Select All`.

Работа с линиями. Характер выделенной линии можно менять через меню `Format/Line`, задавая в диалоговом окне `Pattern` (штриховые и пунктирные линии 23 видов), `Weight` (толщину) и `Color` (цвет). Этот режим может быть вызван и кнопкой панели. Аналогично обстоит дело с концами разомкнутой фигуры.

Размер и кривизна дуг меняются перемещением «ручек эксцентриситета» порождающего их эллипса или окружности вслед за предварительно выбранным «карандашом». Радиусы скругления углов меняются после нажатия соответствующей кнопки панели инструментов перемещением дополнительной (заштрихованной) ручки.

Деформация, сдвиг, вращение. Для изменения *размера* выделенной фигуры мышью (при курсоре в форме черной стрелки!) перемещаются ее граничные точки или — в двумерном случае — ручки обрамляющего бокса.

Для *сдвига* выделенной фигуры нужно поместить на нее (но не на ручку контура) указатель мыши, который должен превратиться в *белую* стрелку. Затем фигура перетаскивается.

С помощью меню `Shape` и выведенных на панель инструментов возможно зеркальное отражение и вращение объектов, в том числе на произвольный угол. В последнем случае нужно:

1) выбрать фигуру;

2) выбрать соответствующий инструмент;

3) при необходимости перетаскиванием сместить центр вращения;

4) поместить указатель мыши в одну из ручек блока;

5) вращать объект протаскиванием ручки до занятия требуемого положения.

Для вращения выделенной фигуры нужно выбрать на панели клавишу вращения. После этого можно вращать фигуру относительно ее центра, обозначенного знаком $\oplus$. Перемещение последнего изменит центр вращения. Собственно вращение происходит протягиванием ручек вращения (зеленых кругов). Вращение на $\pm 90^\circ$ можно выполнить нажатием специальных кнопок. Замкнутые фигуры вращаются и отражаются вместе с заключенным в них текстом.

Заполнение и заливка. Для заполнения замкнутых фигур используются команды меню `Format/Fill`. В окне открывшегося диалога можно выбрать вид штриховки `Pattern` (40 вариантов), цвет штриховки фигуры (`Foreground`) и фона (`Background`). Имеется возможность создавать собственные варианты заполнения заданием его фрагмента. С помощью кнопки, изображающей ведерко с краской, выполняется сплошная цветная заливка. Все цвета, включая белый, являются непрозрачными. Заливка может быть применена к любой замкнутой фигуре, тогда как штриховка — только к «нарисованной».

Размножение, комбинирование, группировка фигур. Для помещения в заданное место копии нужно выделить оригинал и выполнить буксировку при нажатой [Ctrl]. Копирование и вставку можно организовать также через буфер (`Clipboard`).

Для создания *комбинированных* фигур сначала нарисуйте компоненты, а затем наложите их перетаскиванием. Исходное расположение фигур можно сменить, выделив одну из них и воспользовавшись командами меню `Shape` для перевода ее на передний или задний план. Перед выполнением операций над фигурами операнды должны быть *выделены*.

Панель команды `Shape/Operations` наглядно иллюстрирует результат каждой из операций. `Union` выполняет объединение налагающихся замкнутых фигур (остается их общий контур). Команда `Combine` дает «прозрачное» наложение фигур. Форматы и текст наследуются от фигуры, выбранной первой. При изображении строго вложенных фигур начинайте с внешних — тогда дополнительные операции не потребуются.

Выделенные фигуры одной схемы, независимо от степени их «территориальной близости», могут объединяться командой `Shape/Grouping/`

Group. Группа перемещается, вращается и масштабируется как единое целое, однако сохраняется возможность раздельного редактирования компонент. Команда Ungroup рассыпает группу. Сложные изображения, которые предполагается использовать в составе трафаретов, предварительно должны быть сгруппированы.

6.12.7. Редактирование схем

Соединение фигур. Соединитель «от кнопки» работает при его протаскивании между точками соединения фигур. Разнообразные соединители из трафаретов переносятся в поле рисунка аналогично фигурам. Когда соединитель «приклеился», точка соединения краснеет. При сдвиге одной из соединенных фигур связь сохраняется, но растягивается и деформируется. Если выделены оба элемента, они будут двигаться вместе со связью.

Соединения можно нарисовать и «чертежным инструментом». В этом случае сдвиги могут нарушать связи.

Любая открытая фигура (в частности, соединитель) может иметь «начало» и «конец», вид которых задается отдельной кнопкой (45 вариантов формы и дополнительная регулировка размера). Обычно используются стрелки.

Выравнивание фигур. Кнопка Align Shapes позволяет выровнять выделенные фигуры по вертикали (горизонтали). Кнопка Distribute Shapes равномерно распределяет выделенные фигуры (в уже сложившихся границах) по горизонтали и отдельно — по вертикали. Она работает только для трех и более объектов. Варианты выравнивания и распределения наглядно иллюстрируются в диалоговых окнах.

Страница в целом. Размер рисунка может быть изменен «протаскиванием» границы с нажатой клавишей [Ctrl]. При *уменьшении* рисунка сформированные для надписей поля также будут уменьшены; шрифты же текстов автоматически не масштабируются. В результате надписи могут оказаться разбитыми на строки, наползти на фигуры и т. п. Поэтому при планируемом уменьшении делайте надписи более мелким кеглем.

Поворот рисунка. Если в рукопись включается занимающий целую страницу рисунок «ландшафтной» ориентации, нужно:

- *выделить* все его содержимое, обведя по контуру указателем или применив соответствующую команду меню Edit;
- объединить выделенное командой Shape/Grouping/Group;

- повернуть группу влево на 90° командой `Shape/Rotate Left`.

Подпись к такому рисунку и его номер должны являться его составной частью. При вставке «ландшафтного» рисунка в LaTeXническую рукопись нужно зарезервировать чистую страницу и на ней в окружении `picture` вместо команды `\figcaption` записать команду увеличения на единицу счетчика рисунков: `\addtocounter{figure}{1}`.

6.12.8. Экспорт и импорт файлов

Рисунки из других *Windows*-приложений удобно импортировать через буфер `Clipboard`. Такие рисунки представляются как единое целое и непосредственно могут только масштабироваться (нельзя выделить часть рисунка и работать с ней — например, скорректировать надпись). Требуемая коррекция может быть реализована через *непрозрачное наложение* (см. меню `Format/Text Block`) отдельно выполненных средствами *Visio* фрагментов.

Экспорт файлов для работы с другими приложениями производится в форматы `CGM`, `EPS`, `PCX`, `TIF`, `BMP`, `WMF` через меню `File`. При этом, возможно, придется ответить на вопросы о дополнительных опциях.

Глава 7

Инструментарий теоретика

Задачами теоретического исследования являются:

- нахождение закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных;
- изучение объектов, непосредственно недоступных для исследования;
- повышение доказательности выводов — через организацию наблюдений, логическую и математическую обработку;
- распространение результатов на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований;
- обобщение имеющихся результатов.

Теоретические исследования включают в себя: анализ физической сущности процессов и явлений; разработку физической модели; проведение математического исследования; анализ теоретических решений. На их основе выводятся практические следствия и определяются способы их реализации, разрабатываются и испытываются конструкции (алгоритмы и программы), проводится внедрение, оценивается полезный эффект.

В процессе теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности формальные задачи. Поэтому диссертант должен быть вооружен соответствующим логическим и математическим аппаратом.

7.1. Формальная логика

Еще в средневековых университетах полный курс из семи свободных искусств делился на два цикла: Trivium, в состав которого входили грам-

матика, риторика и диалектика (логика), и Quadrivium, состоявший из арифметики, астрономии, музыки и геометрии. К сожалению, основы логики выпали из программ и общего среднего, и высшего технического образования, тогда как следовало бы изучать ее еще в младших классах.

Выше уже отмечалось, что логика не приводит к открытиям. Но она абсолютно необходима *при проверке* самых блестящих озарений, их формальной проработке и описании результатов. Диссертанты очень часто допускают серьезные логические ошибки. Проблема логичного мышления в сфере естественных и технических научных дисциплин особенно актуальна, поскольку необходимая в их рамках формализация как описаний исследуемых объектов и их моделей, так и методов исследования требует четкого языка вообще и логичного мышления — в особенности. Логика нужна как в собственных исследованиях, написании и защите научных работ, так и при опровержении чужих тезисов в процессе печатной или устной дискуссии.

Классическая (аристотелева) логика включает такие разделы, как понятие, суждение, законы правильного мышления, умозаключение (дедуктивное, индуктивное и по аналогии), логические основы теории аргументации, гипотеза. Ниже излагается минимально необходимый набор сведений по классической логике (подробнее см. [55, 56, 89, 237]). Для лучшего усвоения их рекомендуем задачник [56].

7.1.1. Требования к правильным рассуждениям

Прежде всего отметим важнейшие принципы логики:

- анализ самого объекта, а не нашего представления о нем;
- рассмотрение конкретного объекта в конкретных условиях;
- анализ всех тех и только тех его свойств и связей, которые существенны в этих условиях.

С *понятием* связываются необходимые и достаточные в совокупности признаки предмета [46, с. 228]. Для начала познания необходима некоторая устойчивость форм предмета или явления, которое познается.

При образовании понятия сначала надо отделить существенные признаки от несущественных. Различают реальное и номинальное определения понятия. В последнем случае речь идет о выборе *имени* («будем называть...»). Типичным способом *реального* определения является указание ближайшего рода и видового отличия. В *операциональном*

определении видовой характеристикой является указание на операцию, с помощью которой определяемые предметы могут быть обнаружены и отличены от других предметов того же рода. *Генетическое* определение задает правило порождения объекта: например, прямой круговой конус есть тело, получаемое вращением прямоугольного треугольника вокруг катета. Генетические определения широко используются в теории и практике программирования — см., например, определение идентификатора в нотации Бэкуса или синтаксические диаграммы языка *Паскаль*.

Определение должно быть четким, соразмерным и исключающим логический круг, т. е. прямую или косвенную ссылку на себя же. Примеры нарушения перечисленных требований:

- *Пехота — царица полей*: это вообще не определение, а метафора.
- *Бочка — сосуд для хранения жидкостей*: определение несоразмерно. Жидкость можно держать и в бутылке; с другой стороны, в бочке могут храниться квашеная капуста, краска, порох, песок или цемент.
- *Количество — определение предмета с его количественной стороны*: логический круг.

Классическим примером логического круга мы обязаны контактам Маленького Принца: «*Я пью, потому что мне стыдно, — мне стыдно, потому что я пью*» (Антуан де Сент-Экзюпери). Приведем еще несколько примеров логического круга в заготовках для построения силлогизмов из [66]:

- Все прямые углы равны 90 градусам.
- Всякая легитимная власть является законной властью.
- Всякий ислам — мусульманство.

Кстати, заметим, что ислам, несмотря на наличие в нем многих сект и направлений, — единичное понятие (как и христианство) и не может быть «всяким».

Средствами выявления некорректности суждения могут быть его приведение к канонической форме и инверсия, соответственно:

Всякая бочка есть сосуд для хранения жидкостей.
Всякий сосуд для хранения жидкостей есть бочка.

Здесь двусторонняя несоразмерность понятий становится очевидной. «Бочковое» суждение может быть истинным лишь как частноутвердительное: *Некоторые сосуды для хранения жидкостей суть бочки.*

Непосредственным объектом научного исследования всегда является *абстрактная модель* объекта — его «конденсат». Абстрагирование состоит в мысленном отвлечении от несущественных свойств предмета и одновременном выделении *существенных в определенных целях*. Абстрагирование может быть многоступенчатым. Его примером может служить переход от сложения конкретных предметов к сложению чисел, переменных и к линейным операторам вообще.

При *ограничении* мы переходим от понятия с бóльшим объемом к понятию с меньшим объемом, но с бóльшим содержанием. При *обобщении* имеет место обратная ситуация. Описать род и анализировать элементы рода в целом экономнее, чем все эти элементы порознь. Для лучшего уяснения термина «объем» рекомендуем графически (кругами на плоскости) представить отношения следующих понятий:

- Музыкант, композитор, скрипач.
- Техника, электронная техника, бытовая техника.
- Кибернетика, системный анализ, исследование операций.
- Ученые, математики, физики.
- Герои войны, участники войны, генералы.

Пределом обобщения являются *категории* (философские, общенаучные, конкретных наук). Базисными категориями считаются материя, пространство, движение, свойство, количество, качество, мера, форма, содержание, причинность, случайность, возможность, необходимость. К ним можно добавить понятия системы, симметрии, устойчивости.

Операции обобщения и ограничения (род и вид) следует отличать от отношений целого и части.

Классификация может проводиться по существенным и несущественным признакам. Все классификации основываются на той или иной упорядоченности. Наука занимается не отдельными объектами, а обобщениями, т. е. классами и теми законами, в соответствии с которыми упорядочены объекты, образующие класс (выделение и иерархия признаков и степеней их развития). Вот почему классификация представляет собой фундаментальный процесс и первый шаг в развитии

науки. Графическая иллюстрация процесса построения нетривиальной классификации приводится в [220, с. 277–279]. Сама упорядоченность уже может подсказать наличие причинно-следственных связей (пример — периодическая система элементов Д. И. Менделеева)[1]. Несущественная (например, алфавитная) классификация служит только для нахождения объектов и сведений о них.

При построении классификаций производится *деление* понятия. Деление должно быть полным (охватывать весь его объем), по единственному основанию, без перекрытий, непрерывным (каждый шаг деления должен проводиться на одном иерархическом уровне). В тезисе

Борцы за идею бывают мучениками и фанатиками

принадлежность к первой группе определяется судьбой «борца», а ко второй — степенью его убежденности, причем очевидны неполнота и возможность перекрытия. В классификации

Часы бывают башенные, настенные, наручные, электронные, механические, маятниковые и будильники

имеет место смешение оснований деления — по месту установки/ношения, по принципу работы, по назначению. Все перечни неполные.

Другой пример: противопоставление тайных и прямых выборов [171, с. 60] неграмотно ввиду смешения оснований деления.

Требование непрерывности деления нарушено в тезисе

В состав программного обеспечения персональных ЭВМ входят операционная система, утилиты, системы программирования, СУБД и прикладное ПО.

На рис. 7.1 показана структура программного обеспечения по Б. С. Богумирскому [26, с. 124]. Жирными линиями выделены подсистемы, вошедшие в это определение.

Теперь читатель без труда найдет дефекты в утверждении

Геометрические фигуры делятся на плоские, многогранники, сферические, треугольники, квадраты, шары, призмы, пирамиды и другие.

[1]Здесь причинная связь была вскрыта много позже.

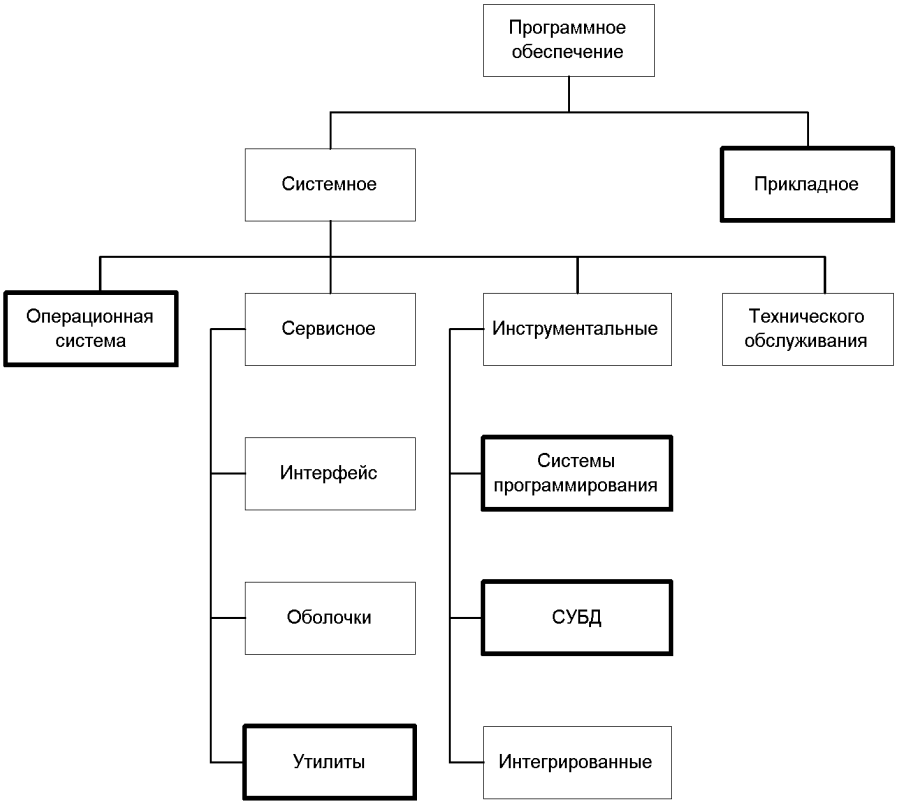

Рис. 7.1. Структура программного обеспечения ПЭВМ

Согласно закону *тождества*, объем и содержание всякого понятия в течение данного рассуждения должны оставаться неизменными. Тождество понимается как равенство в определенном отношении. Этот закон может нарушаться как неумышленно, так и при недобросовестной полемике. Подмена тезиса чаще всего происходит через изменение объема термина (переходом от узкой к более широкой области), от условного утверждения к безусловному, а также через смену контекста высказывания.

По *закону противоречия* два противоречащих друг другу высказывания не могут быть одновременно истинными: по крайней мере одно из них ложно. Типичные примеры неправильного применения этого закона:

- противоречием считают ситуацию, когда утверждается наличие у предмета одного признака и отрицается — другого;

- противоречат суждения о разных предметах;
- суждения относятся к разным моментам времени;
- суждения относятся к несуществующим объектам.

Надо отличать противоречие от *противоположности*. В последнем случае имеется более двух альтернатив.

Иногда те факты, которые первоначально казались несовместимыми с теорией, по мере появления новых фактов начинают постепенно находить свое естественное место в ней. Следует иметь в виду, что противоположности в некотором смысле могут быть схожими: северный и южный географические полюсы (в смысле климатических условий), негатив и позитив фотографии, картина и ее зеркальное отражение. Несовместимые на первый взгляд теории могут оказаться правильными *с разных точек зрения*.

Логический вывод в общем случае есть многоэтапный процесс перехода от посылок к заключениям и далее от полученных заключений как новых посылок — к новым заключениям. Методами логики, строго говоря, исследуется правильность, но не истинность рассуждений: *истинность* относится к содержанию, а *правильность* — лишь к форме рассуждения. Вывод, верный с точки зрения символьных преобразований, не обязательно распространяется на *объекты*, обозначенные символами (например, взятые в иных отношениях).

Существуют три основных схемы логического вывода: дедукция, индукция и аналогия. Все они содержат в более или менее осознанном виде выявление родовидовых признаков. Дедукция предсказывает свойства вида по родовым, индукция — родовые по нескольким видам, аналогия — свойства одних видов по свойствам других. Когда первоначально не связанные наблюдения организуются в определенную область науки, *индукция и дедукция следуют друг за другом и зависят друг от друга, подобно тому, как при ходьбе мы последовательно шагаем правой и левой ногой* [220].

7.1.2. Дедуктивные рассуждения

В дедукции рассуждения идут от обобщений и заключений к суждениям меньшей степени общности и отдельным конкретным фактам. При этом считается, что

1) исходные посылки рассуждения являются истинными;

2) истинные посылки при правильном их применении порождают только истинные следствия.

Суждения бывают общеутвердительные (A), общеотрицательные (E), частноутвердительные (I) и частноотрицательные (O).

Непосредственные заключения делаются из одной исходной посылки. Остальные виды рассуждений связаны с понятием *распределенности* терминов — субъекта S (подлежащего) и предиката P (сказуемого). Термин считается распределенным, если его объем целиком входит в объем другого термина или целиком из него исключается. Субъект распределен в общих и не распределен в частных суждениях; предикат — распределен в отрицательных и не распределен в утвердительных суждениях. Единичный объект распределен всегда.

Обращение есть перемена ролей субъекта и предиката. Простое обращение не меняет количественную характеристику понятий. Если предикат исходного суждения не распределен, то он не может быть распределен и в заключении, где он становится субъектом. Поэтому его объем должен быть ограничен. Таким образом, возможны обращения $A \to I$ (с ограничением), $E \to I$, $I \to I$. Примеры:

$$\frac{\text{Все } S \text{ суть } P}{\text{Некоторые } P \text{ суть } S}; \quad \frac{\text{Ни одно } S \text{ не есть } P}{\text{Ни одно } P \text{ не есть } S}.$$

Частноотрицательное суждение не обращается. Не обращаются также суждения, предикаты которых мнимы.

В случае *превращения* качество суждения меняется на противоположное, а предикат заменяется на противоречащий ему термин:

$$\frac{\text{Все } S \text{ суть } P}{\text{Ни один } S \text{ не есть не } P}; \quad \frac{\text{Некоторые } S \text{ не суть } P}{\text{Некоторые } S \text{ суть не } P}.$$

Противопоставление предикату делается последовательным применением превращения и обращения посылки:

$$\frac{S \text{ суть } P}{\text{не } P \text{ не суть } S}.$$

Сравнимые высказывания, имеющие одни и те же субъект и предикат, могут отличаться по количеству и качеству. Отношения между ними удобно выразить в виде логического квадрата (рис. 7.2).

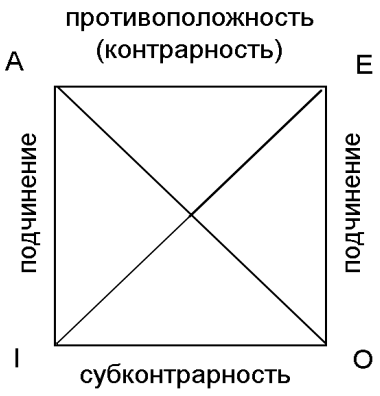

Рис. 7.2. Логический квадрат

В вершинах квадрата помещаются обозначения типов простых суждений. Стороны и диагонали квадрата выражают различные логические отношения между сравнимыми высказываниями:

- подчинение по истинности: из истинности общего высказывания типа A или E следует истинность высказывания I (соответственно O);
- подчинение по ложности: из ложности частного утверждения I или O следует ложность высказывания A (соответственно E);
- противоречие: если одно из суждений в паре O и A, I и E истинно, то другое ложно;
- противоположность (контрарность) между высказываниями A и E: они могут быть одновременно ложными, но не могут быть одновременно истинными;
- субконтрарность между высказываниями I и O: они могут быть одновременно истинными, но не одновременно ложными.

Силлогизмы суть умозаключения, в которых из двух категорических суждений, связанных общим (средним) термином, получается третье суждение — вывод. Меньшим термином силлогизма считается субъект заключения, бóльшим — его предикат. Каждый из них входит в одну из посылок, соответственно именуемых меньшей и большей. Средний термин входит в обе посылки и отсутствует в заключении. При

построении и использовании силлогизмов руководствуются правилами, ведущими от истинных посылок к истинным заключениям:

1. В каждом силлогизме должно быть только три термина (частая ошибка — «учетверение терминов», когда один из трех терминов неявно используется в двух различных смыслах).

2. Средний термин должен быть распределен хотя бы в одной из посылок.

3. Термин, не распределенный в посылке, не может быть распределен в заключении.

4. Хотя бы одна из посылок должна быть утвердительным суждением.

5. Хотя бы одна из посылок должна быть общим суждением.

6. Если есть отрицательная посылка, заключение отрицательно.

7. Если есть частная посылка, заключение частное.

В зависимости от места среднего термина различают четыре *фигуры* силлогизма (рис. 7.3). Первая фигура способна давать общие

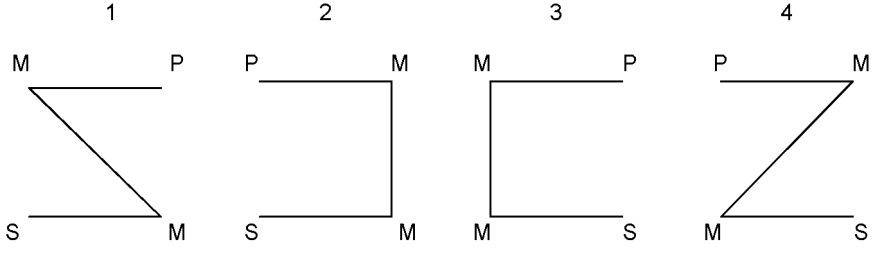

Рис. 7.3. Структура посылок силлогизма

выводы наибольшей логической необходимости. Однако в жизни часто применяются аналогии (вторая фигура), упрощения (четвертая), согласование полей аргументации (третья).

Для различных фигур силлогизмов существуют особые дополнительные правила:

- В первой фигуре бóльшая посылка должна быть общей, а меньшая утвердительной.

- Во второй бóльшая посылка должна быть общей, а одна из посылок и заключение — отрицательными.
- В третьей меньшая посылка должна быть утвердительной, а заключение — частным.
- Четвертая фигура общеутвердительных заключений не порождает.

Наиболее частые *нарушения* этих правил:

- заключение делается по первой фигуре с меньшей отрицательной посылкой;
- заключение делается по второй фигуре с двумя утвердительными посылками.

С учетом всех перечисленных правил допустимы лишь 19 модусов силлогизмов. По фигурам разрешены:

```
  I - AAA, EAE, AII, EIO.
 II - AEE, AOO, EAE, EIO.
III - AAI, EAO, IAI, OAO, AII, EIO.
 IV - AAI, AEE, IAI, EAO, EIO.
```

Ниже представлены несколько примеров логических ошибок и их диагностика.

1. *Все военные объекты нуждаются в охране.*
Банк — не военный объект.

Банк не нуждается в охране.

Заключение по первой фигуре, меньшая посылка должна быть утвердительной.

2. *Все кристаллические вещества не пластичны.*
Все металлы не пластичны.

Все металлы — кристаллические вещества.

Обе посылки отрицательны, логический вывод невозможен.

3. *Движение вечно.*
Хождение на службу — движение.

Хождение на службу вечно.

Учетверение терминов — движение используется в философском и в механическом смысле.

4. *Некоторые учащиеся — экстремисты.*
Все студенты — учащиеся.
Некоторые студенты являются экстремистами.

Средний термин не распределен ни в одной из посылок.

5. *Все моржи — ластоногие.*
Это животное — ластоногое.
Это животное — морж.

Силлогизм по второй фигуре. Одна из посылок и заключение должны быть отрицательными.

Рассмотрим еще несколько типов умозаключений. Рассуждение по схеме

$$\frac{a \to b}{\bar{\bar{b}} \to \bar{a}}$$

называется *контрапозицией*.

В *чисто условном* умозаключении условны и посылки, и заключение:

$$\frac{a \to b;\ b \to c}{a \to c}.$$

Здесь вывод получается на основе свойства транзитивности.

Условно-категорическое рассуждение (условна одна из посылок) приводит к двум правильным модусам:

$$\frac{a \to b;\ \bar{b}}{\bar{a}}.$$

В других случаях возможны лишь *вероятные* заключения:

$$\frac{a \to b;\ b}{\text{вероятно, } a}; \qquad \frac{a \to b;\ \bar{a}}{\text{вероятно, } \bar{b}}.$$

7.1.3. Индуктивные рассуждения

Индукция (по Миллю) есть *процесс открытия закона*. «Великие открытия, скачки научной мысли вперед создаются индукцией — рискованным, но истинно творческим методом» (Л. де Бройль, [137, с. 87]). Лаплас [137, с. 66] считал индукцию и аналогию главными средствами достижения истины в самой математике.

Индуктивные рассуждения строятся от частного к общему. Рассматриваются следующие виды индукции:

1. Популярная (через простое перечисление).
2. Через анализ и отбор фактов (типичных, разнообразных, представительных) — например, при социологических опросах должны опрашиваться *все* слои населения, выбираться их *типичные* представители, численность выборочных классов должна быть *пропорциональной* относительной численности слоев.
3. Полная (установление требуемого свойства для всех объектов класса по ограниченному числу случаев).
4. Научная (на основе причинных связей), многочисленные примеры которой известны читателю из школьного курса математики: вывод формул для сумм нечетных чисел, арифметической и геометрической прогрессий, бинома Ньютона и т. п.

Индуктивные рассуждения, в отличие от дедуктивных, не всегда являются строго доказательными, и при их применении возможны разнообразные ошибки. *Неполная* индукция — это перенос знаний, известных о части объектов данного класса, на *все* объекты данного класса. Здесь ошибочные индуктивные заключения могут возникать из-за применения второстепенных признаков в качестве существенных и поспешного обобщения. Есть старый анекдот [220] о человеке, который пил каждый день, но в понедельник виски с содовой, во вторник — джин с содовой, в среду ром с содовой и т. д. Поскольку каждый раз он хмелел, то «индуктивно» пришел к выводу, что причиной опьянения была... содовая (по-русски — газировка).

Правдоподобные индуктивные рассуждения проводятся с учетом не только повторяемости признаков у объектов некоторого класса, но и их взаимосвязи и причинной зависимости между данными признаками и свойствами рассматриваемых объектов. Формулируются они в виде принципов единственного различия, единственного сходства, единственного остатка и аналогии.

Единственное различие. Если при неизменных прочих условиях после введения какого-либо фактора появляется (или после удаления его исчезает) некоторый эффект, то указанный фактор и составляет причину эффекта.

Единственное сходство. Если все обстоятельства, кроме одного, могут отсутствовать, не уничтожая эффекта, то это одно обстоятельство является причиной эффекта.

Единственный остаток. Если вычесть из какого-либо явления ту часть его, которая согласно прежним исследованиям оказывается следствием присутствующих в явлении известных причин, то остаток явления есть следствие остальных причин.

7.1.4. Аналогии

Аналогии суть нестрогие рассуждения по схеме «от частного к частному». На этот прием, временами очень широко (и бестолково!) применявшийся, было наложено настоящее проклятие в виде фразы: «Аналогия — не доказательство!». Однако аналогии играют колоссальную роль в творческом процессе, ибо, *рассуждая строго, невозможно открыть что-то новое*.

Приведем классический пример рассуждения по аналогии: *поскольку из всех фигур с заданной площадью наименьший периметр имеет круг, из всех тел с заданным объемом наименьшую поверхность имеет шар*. В [251, с. 59–60] обсуждаются аналогии, проведенные при выводе уравнений Максвелла. Аналогией является также объяснение «красного смещения» излучения удаленных галактик через акустический эффект Допплера.

Непревзойденными образцами аналогий являются использование идей разработанной Я. И. Френкелем кинетической теории жидкостей в, казалось бы, ничего с ней не имеющей общего области строения ядра: модель ядра-капли, механизм деления и возбуждения ядер и т. п [53, с. 84]. Именно эта теория объясняет деление ядер урана. Он же заметил, что явление сверхтекучести жидкого гелия вблизи абсолютного нуля температуры представляет собой механический аналог явления электрической сверхпроводимости.

Для аналогий принципиально важна принадлежность исходных суждений к единому «общему» (в приведенном примере «красного смещения» — классу колебательных процессов). Средства повышения достоверности аналогий сводятся к выявлению «наименьшего общего класса»: в этом случае сходство будет наиболее богатым.

7.1.5. Аргументация и опровержение мнений

Два вышеназванных процесса мы рассматриваем совместно ввиду очень тесной функциональной связи их: задача соискателя состоит в опровержении ранее известных тезисов, выдвижении и доказательстве собственных и последующей защите таковых от официальных и неофициальных оппонентов.

Прежде всего отметим, что уже старинные схоласты, развивая философскую мысль путем споров-диспутов, всегда признавали, что диспут может вестись только между людьми, согласными в основных, исходных положениях. Спорить об этих основных положениях считалось бесполезным [45, с. 219].

Далее подчеркнем, что понятие «аргументация» богаче, чем «доказательство». Целью доказательства является лишь установление истинности тезиса, а аргументации — еще и обоснование целесообразности (полезности) принятия этого тезиса.

Искусство доказательства заключается в умении подбирать средний термин. Если надо доказать утвердительный вывод, то средний термин должен объединять крайние термины, если доказывается отрицание — противопоставлять их. Если надо доказать общее положение, посылки должны быть общими. Если надо доказать положительное утверждение, посылки должны быть утвердительными.

Существуют два вида доказательства: прямое и косвенное (доказательство ложности антитезиса). Последнее возможно в двух вариантах: обычная схема от противного и разделительное доказательство по схеме

$$\frac{a \vee b \vee c, \quad \bar{a} \wedge \bar{b}}{c}.$$

Здесь обязательно перечисление *всех* альтернатив.

Ошибки в доказательствах делятся на три типа: в доказываемом тезисе, в аргументах и в форме доказательства.

Типичной ошибкой в *тезисе* является его подмена (например, замена более широким, тогда как фактически доказывается узкий).

Ошибками в *аргументах* могут быть ложность аргументов, предвосхищение основания (недоказанность аргументов), логический круг.

Доказательство ошибочно *по форме*, если в нем:

- использован «довод к человеку» (например, ссылка на авторитет или уничижительное высказывание об авторе тезиса);
- применено мнимое следование («после — значит вследствие»);

- сказанное с условием трактуется как сказанное безусловно;
- нарушены правила умозаключений (в случае индуктивных доказательств — поспешное обобщение, проведены ложные аналогии).

Блестящие примеры поспешных обобщений (Д. Пойа) приведены в книге «Физики шутят»:

> «— Взгляни на этого математика, — сказал логик. — Он замечает, что первые 99 чисел меньше сотни, и отсюда с помощью того, что он называет индукцией, заключает, что любые числа меньше сотни.
>
> — Физик верит, — сказал математик, — что 60 делится на все числа. Он замечает, что 60 делится на 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Он проверяет несколько других чисел, например 10, 20 и 30, взятых, как он говорит, наугад. Так как 60 делится и на них, то он считает экспериментальные данные достаточными.
>
> — Да, но взгляни на инженера, — возразил физик. — Инженер подозревает, что все нечетные числа простые. Во всяком случае, 1 можно рассматривать как простое число, заявляет он. Затем идут 3, 5 и 7 — все, несомненно, простые. Затем идет 9 — досадный случай; по-видимому, 9 не является простым числом. Но 11 и 13, конечно, простые. — Возвратимся к 9, — говорит он. — Я заключаю, что 9 должно быть ошибкой эксперимента».

Хочется надеяться, что читатель не совершит подобных ошибок в своей диссертации.

Диссертация уже по своему определению является *полемическим* литературным жанром и должна содержать критику научных положений, выдвинутых другими авторами. *Опровержение* — логическая операция, направленная на разрушение доказательства путем установления ложности или необоснованности ранее выдвинутого тезиса. Применяются следующие способы опровержения:

1) фактами (достаточно одного факта, противоречащего тезису);
2) ложностью или противоречивостью следствий, вытекающих из тезиса (сведение к абсурду);
3) несостоятельностью аргументов (неточные факты, не те условия эксперимента, некорректная обработка статистики, сомнительный эксперт);

4) несостоятельностью демонстрации (отсутствие связи между аргументами и тезисом, ошибка в схеме доказательства).

Заметим, что если первые два способа полностью опровергают тезис, то два последних лишь делают его недоказанным.

Этими же способами соискатель может пользоваться, отвечая на замечания по своей работе участников дискуссии (на семинарах и непосредственно на защите). Опровергать следует только те суждения, которые могут существенно повлиять на оценку диссертабельности работы, и лишь при наличии убедительных контраргументов.

7.2. Математические проблемы

7.2.1. Особенности прикладной математики

Прежде всего отметим, что математика при правильном ее использовании не вносит искажений, — их могут внести недостаточно корректные определения. Поэтому главное внимание должно быть уделено тем вводным рассуждениям и словесным формулировкам, которые кладутся в основу последующих математических построений. Именно в них будут заложены те упрощения и огрубления, которые не всегда можно допустить.

Далее согласимся с акад. А. Д. Александровым [154]: «Применение математики имеет смысл в единстве с глубокой теорией конкретного явления. Об этом важно помнить, чтобы не сбиваться на простую игру в формулы, за которой не стояло бы реального содержания».

Отметим, наконец, что лезвие математических инструментов оттачивается с *двух* сторон: соображениями строгости и эффективности. Абсолютной строгости быть не может: как показали работы по основаниям математики, чисто дедуктивные построения в подавляющем большинстве случаев оказались не в состоянии удовлетворить потребности в математике за ее пределами или обнаружили весьма низкую эффективность. С другой стороны, слишком вольное обращение с математикой может привести к потере доказательности решения и даже его связи с поставленной задачей.

Таким образом, в прикладной математике по необходимости утверждается стиль «*на уровне прикладной строгости*». Его принципиальные особенности проистекают из существования реальных прототипов решаемых задач: решения должны быть устойчивы, бесконечность — реальной, вырожденные случаи и опровергающие примеры должны

иметь фактические аналоги, малые вероятности — соответствовать невозможным событиям.

Считаются допустимыми, хотя и снижают впечатление от работы:

- неточно определенные понятия и применение понятий вне рамок их определения (в разумных пределах);
- уточнение модели в ходе исследования;
- доводы по аналогии и доказательство на частных случаях;
- решение задач, для которых не доказано существование решения;
- применение итераций без доказательства их сходимости;
- использование приближенных решений для оценки ошибки.

В подобных случаях надо делать соответствующие оговорки.

Прикладная математика *пересекается* с вычислительной. Рассуждение в целом считается *эвристическим*, если таков хотя бы один его этап.

Отношения в парах «объект — модель» и «модель — решение» определяют соответственно внешнее и внутреннее подобие. Средствами увеличения *внешнего* подобия являются дополнительные слабо влияющие переменные, учет динамики высокочастотных составляющих, размораживание медленных переменных. При возрастании подобия возрастает побочная адекватность по другим свойствам. На *внутреннее* подобие могут влиять дискретизация, линеаризация, статистическое усреднение, выбор численного метода, шага, числа итераций, критерия их завершения и т. п.

Правильность решения контролируется проверкой размерностей, выдерживания системы единиц, порядков величин, характера зависимостей, математической замкнутости, обусловленности, физического смысла промежуточных результатов.

Может показаться, что богатство математического программного обеспечения избавляет специалиста-прикладника от знания математики. Однако упомянутым богатством надо суметь воспользоваться, и ключом к нему является... *знание математики*. Проблема недостаточной математической подготовки отнюдь не снимается наличием пакетов, реализующих продвинутые методы: надо уметь осознать, почему первоначально выбранный метод не справляется с задачей, и выбрать вместо него другой (какой именно? почему?).

Задачи из каждого раздела вычислительной математики настолько разнообразны, что не могут быть перекрыты никакими стандартными процедурами. Постоянно будут возникать вопросы о выборе метода, шага, требуемой точности, начальных приближений и т. п. К этому добавляется необходимость учета специфических особенностей машинной арифметики. Ниже перечисляются некоторые типичные «заморочки» с прикладной математикой — главным образом с целью побудить читателя постоянно повышать свою математическую подготовку и активно ею пользоваться, а также современные тенденции в использовании численных методов. Более подробное обсуждение этих вопросов см. в книге [213], аккумулировавшей пятидесятилетний личный опыт автора в изучении, применении и преподавании вычислительной математики и программировании ее методов.

7.2.2. Влияние ограниченности разрядной сетки

В современных ЭВМ часто применяется не округление промежуточных результатов, а отбрасывание лишних разрядов, что усугубляет обсуждаемый эффект. Он проявляется при реализации неустойчивых алгоритмов и решении плохо обусловленных задач, которые встречаются почти во всех областях вычислительной математики. Если при использовании итерационного метода точность находится в пределах погрешностей округления и нужно ее повысить, следует увеличить разрядность и продолжить счет с последней полученной точки. Во многих пакетах математических программ имеется возможность счета в формате стандартного и двойного слова и программной эмуляции разрядной сетки вплоть до сотен тысяч разрядов, что многократно увеличивает время счета.

7.2.3. Аппроксимации функций

Обычная полиномиальная интерполяция является глобальной (строится по всей совокупности опорных точек). При добавлении данных приходится увеличивать степень полинома. С середины 1960-х гг. стала популярной *кусочно*-полиномиальная аппроксимация (сплайны), позволяющая провести гладкую кривую через «скользящие» множества из небольшого числа точек. Лучшие на настоящий момент программы используют кусочно-кубические интерполянты с одной и двумя непрерывными производными.

Интерполяция может быть полезной только в случае, если данные не содержат ошибок. В противном случае переходят к наилучшему в некотором смысле приближению (например, с минимальной суммой квадратов отклонений в опорных точках).

Некоторые ряды сходятся чрезвычайно медленно; применение известных методов ускорения сходимости (Эйлера—Абеля) помогает не всегда. Дробно-полиномиальная аппроксимация Паде часто более эффективна, чем разложение Тейлора, и имеет бóльшую область сходимости. Она особенно полезна в диапазонах «немногочленного» (например, асимптотического) поведения функции и может быть подобрана с помощью доступных математических пакетов.

7.2.4. Вычисление определенных интегралов

Существует множество квадратурных формул. При их использовании возникает вопрос о выборе узлов, оценке точности и т. д. При неудачном расположении узлов квадратурная формула может дать сильно искаженные результаты, особенно при наличии в интервале интегрирования большого числа нулей интегрируемой функции. Рекомендуется построить график последней и разбить его на интервалы с постоянным знаком. Для сильно колеблющихся функций следует применять специальную технику интегрирования.

От большинства квадратурных программ требуется, чтобы они не только находили значение интеграла, но и оценивали его погрешность. Этот подход реализуется при использовании составных формул с удвоением числа узлов — в частности, в квадратурах Гаусса—Кронрода [98] и в хорошо известном процессе Ромберга. Эффективность последнего основывается на трех обстоятельствах: возможности использования ранее вычисленных ординат интегрируемой функции; экономном хранении их в виде перевычисляемых сумм; остановке процесса при достижении заданной точности.

Современные стандартные программы реализуют глобально адаптивный алгоритм интегрирования. Он состоит в разбиении отрезка интегрирования на участки. Пока суммарная оценка погрешности превосходит допуск, подотрезок, имеющий наибольшую суммарную оценку погрешности, делится пополам, и формируются частичные интегралы и оценки погрешности.

7.2.5. Задачи линейной алгебры

Матрицы являются компактным и удобным средством описания математических моделей — в особенности линейных. Обычно считают, что изобилие (по количеству и начинке) пакетов соответствующих подпрограмм снимает все проблемы. Однако возникает вопрос о *рациональном* использовании имеющихся возможностей и (при «самодеятельном» программировании) учете «источников повышенной опасности».

Прежде всего отметим, что численные методы, применяемые для «плотных» матриц, весьма отличаются от методов, приспособленных для упакованных разреженных матриц регулярной структуры (треугольных, ленточных, блочных). Первые более универсальны; вторые в специальных случаях намного более эффективны и позволяют решать задачи значительно большей размерности. Надо помнить, что «Программа = Алгоритм + Структура данных».

Относительная погрешность решения системы линейных уравнений пропорциональна относительным погрешностям матрицы коэффициентов системы и ее правой части; константа пропорциональности равна числу обусловленности

$$\mathrm{cond}(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|.$$

Обусловленность — это *внутреннее* свойство матрицы, *не связанное* со способом решения системы уравнений. Логарифм числа обусловленности приближенно равен числу верных цифр, теряемых в решении системы $Ax = b$ по отношению к машинной точности. Матрица считается плохо обусловленной, если модуль ее определителя существенно меньше какой-либо из норм матрицы. Линейные системы с квадратными матрицами считаются *некорректными*, если последние вырождаются в пределах точности коэффициентов, т. е. не выполнены условия

$$\|A^{-1}\| \cdot \|\Delta A\| \leq 1.$$

Понятие некорректной постановки задачи существует и в других разделах математики. Практически оно означает крайнюю чувствительность решения задачи к малым изменениям исходных данных и требует ее *регуляризации* — см. [234]. Для некорректно поставленных задач решение тем или иным способом *обобщается*. В частности, плохо обусловленные линейные системы $Ax = b$ заменяются задачами вида $A^T Ax = A^T b$, которые эквивалентны минимизации $\|b - Ax\|$.

Итерационные методы решения систем линейных уравнений эффективны для разреженных (например, ленточных) матриц и в

тех случаях, когда они учитывают специфику задачи. Матрицы высокой размерности, кроме собственных значений, имеют «почти собственные», которые ухудшают сходимость итерационных процессов.

7.2.6. Решение нелинейных уравнений

На процесс решения уравнения $f(x) = 0$ может влиять *масштабирование* уравнения: умножение обеих частей его на достаточно малое по модулю число заставит процесс, управляемый модулем левой части, завершиться очень далеко от корня.

Задачи, включающие в себя нахождение нулей полиномов высокой степени, требуют либо предельно точного вычисления коэффициентов, либо совершенно иного подхода. Примером является задача вычисления собственных значений матрицы.

Предмет постоянных мучений прикладников — системы нелинейных уравнений. Задание хороших начальных приближений требует знания специфики задачи и умения строить аппроксимации. Для получения комплекснозначных решений следует задавать комплексные начальные приближения. Чтобы найти новое решение, нужно выбрать новую стартовую точку.

7.2.7. Проблема минимизации

Универсальные методы решения многомерных задач оптимизации невозможны в принципе [20, с. 345]. Задачи минимизации часто решаются методом скорейшего спуска. Если изолинии уровня являются эллипсоидами большого эксцентриситета, маршрут состоит из осцилляций в направлении локальных градиентов, даже приблизительно не указывающих направление к центру эллипсоида. В таких случаях необходимо сглаживание колебательности или применение метода сопряженных градиентов [148].

Овражные целевые функции, как правило, возникают при неудачной постановке задачи [20, с. 347] и оптимизируются движением по дну «оврага» — см. [213, разд. 11.1.4].

7.2.8. Дифференциальные уравнения

Сконструировать программу, которая эффективно решала бы любую задачу Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, невозможно. Всегда приходится принимать во внимание специальные свойства

конкретных задач: требуемую точность, желаемое время счета, сложность вычисления правых частей, устойчивость. В «жестких» задачах компоненты физического процесса обладают несоизмеримыми характерными временами. Шаг, выбранный по быстрым компонентам, оказывается мал, и решение идет слишком долго, а увеличение шага ведет к потере устойчивости.

Численные методы, в которых вычисляемое значение y_{n+1} входит в правую часть f, называются *неявными*. Неявные методы, как правило, устойчивее явных и могут иметь неограниченную область устойчивости. Для них выбор шага определяется соображениями, связанными с локальной ошибкой.

В многошаговых методах используются значения решения (а, возможно, и производных) в нескольких предшествующих точках. Они могут применяться только с постоянным шагом. «Многозначные» методы Адамса—Мултона снимают это затруднение экстраполяцией решения в последней полученной точке с помощью ряда Тейлора. Они достаточно точны и подходят для решения нежестких задач. Метод Гира менее точен при решении нежестких задач, но хорош для жестких [98, с. 375].

Наиболее известен «классический» вариант метода Рунге—Кутты четвертого порядка. В этой его форме требуется четырехкратное вычисление правых частей, а оценка ошибки отсутствует. Обычно интегрирование от t_n до t_{n+1} проводится дважды: первый раз с шагом h, второй — двумя шагами $h/2$. Сравнивая два результата, можно оценить локальную ошибку. Здесь при успешно выполненном шаге требуется 11-кратное вычисление правых частей. Фельберг предложил столь же точный вариант метода, требующий лишь шести обращений к правым частям и доставляющий оценку пошаговой погрешности. Его реализует известная программа RKF45.

7.3. Вероятности и математическая статистика

В нашей повседневной жизни и работе мы постоянно сталкиваемся с событиями и явлениями, исход которых априорно не определен. Тем не менее приходится принимать основанные на опытных данных решения, подчас очень важные. Примерами могут служить задачи контроля качества, классификации объектов, резервирования технических систем, диагностики в аварийных ситуациях. Результат вероятностных расчетов — это не предсказание отдельных событий, а оценка их вероятностей.

Методы математической статистики даже по умеренному числу наблюдений позволяют выявлять закономерности на фоне случайностей, делать обоснованные выводы и прогнозы, оценивать вероятности их выполнения. Они обладают высокой степенью универсальности, а их применимость и технология использования практически не зависят от предметной области.

Статистические программные пакеты существенно облегчили этот анализ, автоматизируя трудоемкие и подчас нетривиальные вычисления. На долю исследователя осталась главным образом творческая часть: постановка задачи, выбор метода, интерпретация результатов, принятие решения. Однако для этого нужна определенная статистическая подготовка, традиций которой в России по понятным причинам (многолетнее пренебрежение статистикой, замалчивание или даже искажение ее) нет. В связи с этим напомним, что известная фраза «Существуют три вида лжи: ложь, наглая ложь и статистика» была сказана именно о статистике общественных процессов [96, с. 232]. К *математической* статистике это не относится.

Исследователь должен иметь хотя бы минимальное представление о вероятностях и задачах статистики и уметь оценить в этом смысле возможности имеемого программного обеспечения.

7.3.1. Базовые понятия

Распределения вероятностей. В большинстве явлений присутствуют как закономерная, так и случайная изменчивость. Последнюю обычно объясняют наличием множества неучтенных факторов. Случайности могут не только мешать нам постичь закономерности: иногда они сами порождают их. В формальной генетике, статистической физике, теории массового обслуживания, теории надежности установлены многочисленные закономерности случайных явлений из перечисленных предметных областей.

Степень правдоподобия отдельных исходов и событий связывается с интуитивно ясным понятием *вероятности*. Для любого события A его вероятность $P(A)$ отвечает условию $0 \leq P(A) \leq 1$. Частота события в серии из n независимых опытов $n(A)/n \approx P(A)$ и стремится к вероятности при неограниченном увеличении числа опытов (теорема Бернулли). Для независимых событий вероятность их совместного появления $P(AB) = P(A)P(B)$.

«Объективные» вероятностные характеристики не являются полностью свободными от «субъективных» взглядов их исследователей. В то же время задаваемые экспертами «субъективные» вероятности могут быть в значительной мере «объективными» — если они основаны на опыте изучения экспертами окружающей их объективной реальности, а не являются чисто умозрительными [172, с. 109].

Надо уметь делать правильные выводы при сопоставлении реального исхода с вероятностями возможных вариантов. Опыт Б. В. Гнеденко общения с врачами-диагностами [60] показал, что они заворожены вероятностями появления признака А при болезни Б и отдают преимущество признаку, имеющему вероятность 0.5, перед маловероятным. В действительности же появление последнего должно заставить практически достоверно отклонить исходную гипотезу Б. Каждая случайная величина X задается *распределением вероятностей* на множестве своих значений:

$$F_X(x) \stackrel{\text{def}}{=} \Pr\{X < x\}.$$

Случайная величина может быть непрерывной или дискретной. В последнем случае она принимает значения из конечного или счетного множества. Непрерывная величина имеет *плотность* распределения. На рис. 7.4 показано несколько типичных графиков из одного семейства распределений — гамма-плотности, описываемой общей формулой

$$f(t) = \frac{\mu(\mu t)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\mu t} \tag{7.1}$$

с одинаковым средним $\alpha/\mu = 1$ и различными параметрами α.

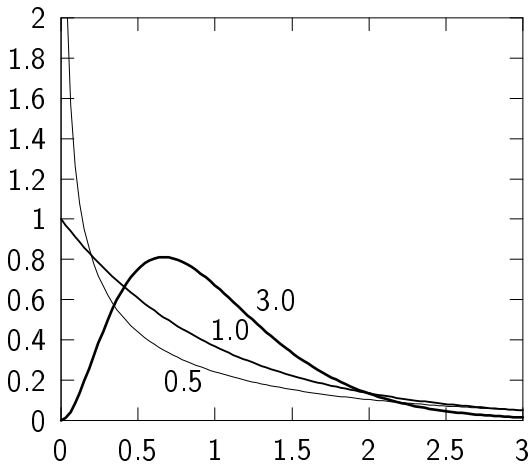

Рис. 7.4. Гамма-плотности

Из непрерывных распределений чаще всего применяются нормальное (гауссово), показательное, эрланговское, гамма-, Вейбулла, Релея; из дискретных — геометрическое, биномиальное, распределение Пуассона.

Числовые характеристики. Проблема свертки информации впервые была четко поставлена именно в математической статистике. [172, с. 132]. Упрощенно числовые характеристики случайных величин делятся на два класса: положения (математическое ожидание, мода, медиана, квантили) и рассеяния (дисперсия, среднее квадратическое отклонение, размах). Из популярного тезиса «Половина мужского населения имеет вес выше среднего» следует вывод не об ожирении мужчин, а о совпадении медианы распределения веса с его средним значением.

Для компактного представления свойств распределений обычно используются квантили и моменты. *Квантилью* случайной величины по вероятности p называется решение уравнения $F(x) = p$. Как правило, применяют квантиль по вероятности 0.5 (медиана) и две квартили (0.25 и 0.75), реже децили.

Моментом k-го порядка случайной величины относительно точки a называется интеграл вида

$$f_k = \int_{-\infty}^{\infty} (x-a)^k dF(x).$$

При $a = 0$ получаем *начальные* моменты. Особую роль играет первый начальный момент $f_1 = \bar{x}$ — *математическое ожидание*, статистическим аналогом которого является среднее значение. Моменты, вычисленные относительно математического ожидания, именуются *центральными*. Второй центральный момент случайной величины (*дисперсия*) D и среднеквадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{D}$ характеризуют ее разброс относительно среднего значения. Среднеквадратическое отклонение, в отличие от дисперсии, сохраняет размерность случайной величины и обычно сопоставляется с ее средним значением f_1 (коэффициент вариации $k = \sigma/f_1$).

Степень связи двух случайных величин X и Y оценивается их ковариацией (корреляционным моментом) $K_{XY} = M[(X-\bar{x})(Y-\bar{y})]$ или коэффициентом корреляции $\rho_{XY} = K_{XY}/(\sigma_X \sigma_Y)$. Здесь и далее M означает оператор математического ожидания.

На рис. 7.5 приведены графики играющего важнейшую роль в теории вероятностей и математической статистике *нормального* (гауссова) распределения с плотностью $f(x) = \exp[-(x-a)^2/2\sigma^2]/\sigma\sqrt{2\pi}$ при общем среднем $a = 3$ и различных σ. Для оценки отличия произвольного распределения от нормального с теми же средним и дисперсией

используются высшие центральные моменты, нормированные соответствующей степенью σ: асимметрия $\alpha = M[(X - \bar{x})^3]/\sigma^3$ и эксцесс (заостренность) $\varepsilon = M[(X - \bar{x})^4]/\sigma^4 - 3$. Выражения для обоих упомянутых коэфициентов подобраны так, чтобы они для нормального распределения давали нулевые значения. Аналогично для отличения произвольного распределения на $[0, \infty)$ от показательного можно определить *коэффициенты немарковости*.

Полезным и доступным справочником по вероятностным распределениям может служить [34].

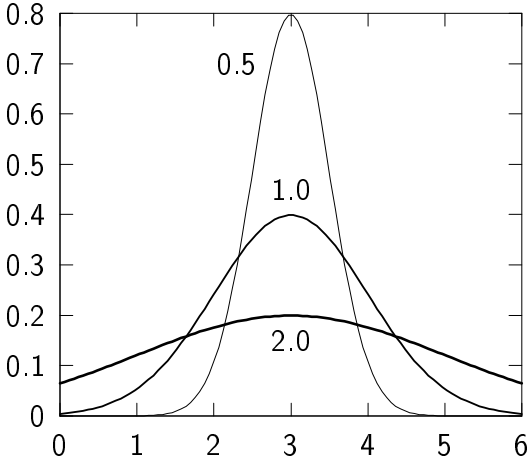

Рис. 7.5. Нормальные плотности

7.3.2. Выборка и ее представления

Имеющиеся экспериментальные данные принято рассматривать как *выборку* из генеральной совокупности. При увеличении объема выборки ее числовые характеристики будут стремиться к аналогичным характеристикам теоретического распределения (закон больших чисел).

Элементы выборки обычно упорядочивают по возрастанию — получается *вариационный ряд*. Мало различающиеся элементы объединяют в классы, сопоставляя каждому из них некоторое среднее значение. Затем на гистограмму накладывают график предполагаемой плотности распределения и оценивают их согласие.

7.3.3. Основные задачи математической статистики

Относительно выборки выдвигаются статистические *гипотезы* — предположения об исходном распределении. *Статистически доказать истинность гипотезы нельзя*; возможно (с некоторым риском) лишь ее статистическое опровержение. Пусть $P(A|H) < \varepsilon$ — вероятность редкого события A при истинности гипотезы H. При появлении в эксперименте события A мы можем ошибочно отвергнуть H (совершить ошибку первого рода) на уровне значимости ε. Ошибка второго рода (пусть ее вероятность равна β) — принятие ложной гипотезы. Вероятность $1-\beta$ дополнительного события называется *мощностью* выбранного критерия. Объем выборки должен быть достаточным для статистической значимости (не путать со значением!) выводов. Согласно давней традиции, проценты можно подсчитывать только при числе наблюдений не менее ста [135, с. 53], но диссертанты постоянно нарушают этот принцип.

Если проверка гипотезы опирается на предположение о конкретном типе исходного распределения, то метод проверки называется *параметрическим*. Достаточно полная теория параметрических методов разработана только для нормального (гауссова) распределения. Непараметрические методы менее точны, но имеют более широкую область применения — прежде всего сравнительный анализ двух выборок (в частности, проверка их однородности, т. е. принадлежности к единой генеральной совокупности). Они опираются на *ранговые* статистики, учитывающие расстановку элементов в объединенной выборке.

Для *оценки параметров* теоретических распределений применяются следующие методы:

- квантилей;
- моментов;
- максимального правдоподобия.

Первые два основаны на приравнивании одноименных характеристик статистического и теоретического распределений (характеристики последнего предварительно выражаются через искомые параметры). В методе максимального правдоподобия отыскиваются значения параметров, при которых максимальна вероятность появления наблюденной выборки. Тип теоретического распределения из семейства Пирсона можно установить по соотношению между первыми четырьмя статистическими моментами. Соответствие между теоретическим и статистическим

распределениями оценивается по *критериям согласия* (χ^2 К. Пирсона, Н. В. Смирнова, А. Н. Колмогорова).

К оценкам предъявляются требования *состоятельности* (сходимость по вероятности к истинным значениям искомых параметров при неограниченном увеличении числа наблюдений); *несмещенности* (отсутствия систематической ошибки при любом конечном их числе); *эффективности* (минимальной дисперсии).

Для нормального распределения можно установить точность (доверительный интервал) и надежность (доверительную вероятность) получаемых оценок. Ширина доверительного интервала обратно пропорциональна квадратному корню из числа наблюдений. Она возрастает (т. е. точность оценки падает) при увеличении доверительной вероятности.

Критерий Стьюдента позволяет проверить гипотезу о равенстве средних двух выборок, а критерий Фишера — о равенстве их дисперсий. Непараметрическими аналогами этих критериев являются ранговые статистики Краскела—Уоллиса и Джонкхиера.

Для технологических, промышленных, социологических, военно-технических и других экспериментов актуальна задача оценки *эффектов обработки*, т. е. изменения условий опыта. Критерий Фридмана позволяет оценить достоверность их влияния на среднее значение распределения, а критерий Пэйджа — упорядоченность способов обработки по достигаемому эффекту.

Целью *регрессионного анализа* является установление количественной связи между воздействием и результатом (откликом) при наличии случайных помех. Предварительно задача параметризуется, и отыскиваются параметры функции, при которых сумма квадратов отклонений наблюдений от расчетных точек $\{y_i\}$ минимальна («метод наименьших квадратов»). В частности, при полиномиальном сглаживании решается задача

$$\sum_{i=1}^{n}\Big(\sum_{j=0}^{k} a_j x^j - y_i\Big)^2 \to \min .$$

Для задач линейной регрессии имеется аппарат построения доверительных оценок — как гауссовых, так и непараметрических.

7.3.4. Временные ряды

При работе с временны́ми рядами применяются следующие группы методов:

- *корреляционного и спектрального анализа* — для выявления периодических компонент и их сдвигов в одном или нескольких процессах;
- *сглаживания и фильтрации* — для преобразования временны́х рядов удалением из них периодических составляющих заданного диапазона частот;
- *авторегрессии и скользящего среднего* — для описания и прогнозирования процессов с медленно меняющимся средним.

Если выявлена *заметная* корреляция, она должна быть осмыслена.

Ряды и преобразования Фурье используются почти во всех областях науки: в теории электрических цепей и вообще колебательных систем, в оптике, акустике, термодинамике, экономике. Функцию или набор данных можно разложить по определенной системе тригонометрических функций. Важную роль играют коэффициенты этого разложения. По ним вычисляется, в частности, спектр мощности сигнала (распределение этой мощности по частотам). Произведение преобразований Фурье двух функций является сверткой составляющих, что позволяет автоматизировать выполнение свертки. Автокорреляция применяется в статистических тестах и для определения скрытой периодичности в данных.

Обычно научным работникам приходится вычислять *дискретное* преобразование Фурье. Для этого разработана высокоэффективная технология — быстрое преобразование Фурье (БПФ).

Отметим также группу методов, связанных с *классификацией* объектов и ситуаций в задачах технической диагностики, опознавания объектов и т. п., — дискриминантный и кластерный анализ, многомерное шкалирование и др.

7.3.5. О пакетах статистических программ

В России распространены десятки зарубежных статистических пакетов программ — *Statgraphics, SPSS, Statistica* и др. Из отечественных разработок наиболее популярен пакет *Stadia*. Сопоставление шести пакетов по перечню процедур и подробное описание техники работы с

пакетами *Statgraphics* и *Stadia* приводятся в [236]. Два последних пакета сравниваются по комплексу показателей, причем явное предпочтение отдано пакету *Stadia*.

В общематематические пакеты обычно входят достаточно содержательные статистические разделы.

7.4. Задачи исследования операций

Исследованием операций (ИО) называется применение математических методов к анализу и оптимизации целенаправленной человеческой деятельности.

Специалисты по оптимизации часто забывают о второй части этого определения — *целеполагании*, т. е. правильном выборе показателя эффективности. Классический пример такой ошибки относится к задаче проводки трансатлантических конвоев во время Второй мировой войны. Вскоре после установки на транспорты зенитных орудий выяснилось, что самолеты противника, атакующие корабли, сбивались крайне редко, и встал вопрос об отмене этой меры. Однако нашлись умные люди, которые напомнили об истинной ее цели: *защите транспортов*. С этой точки зрения затраты окупились многократно, поскольку зенитный огонь вынудил самолеты маневрировать, резко понизил точность бомбометания и уменьшил вероятность попадания в корабль.

Б. В. Гнеденко [60, с. 61–64] приводит пример неправильного выбора критерия поощрения комбайнеров: максимум убранных гектаров (вместо намолота). У «передовиков» на гектаре оставалось 5–7 центнеров зерна.

Современные методы ИО являются важнейшим инструментом профессиональной деятельности *организаторов* производства в широком смысле слова, прежде всего военных. В [172] приводится графическая иллюстрация соотношений (пересечений) между общей теорией систем, анализом систем, системотехникой, прикладной кибернетикой, исследованием операций, теорией эффективности целенаправленных процессов, теорией полезности, теорией принятия решений и квалиметрией. При неучете этих связей упускаются возможность радикальных преобразований задачи, меняющих ее постановку и получаемые решения, и ограничивающие варианты действий инерциальные факторы [181, с. 270].

Перечислим основные методы исследования операций [39, 62, 153].

Линейное программирование. Здесь решаются задачи с линейной целевой функцией при линейных ограничениях на переменные и (обычно) требовании их неотрицательности. Принципиальной их особенностью является невозможность применения подходов, основанных на дифференцировании целевой функции. Оптимум (если он существует) всегда достигается в процессе направленного перебора на границе допустимой области — в вершине выпуклого многогранника. Новым подходом является движение к оптимуму *изнутри* области. Примерами задач линейного программирования являются задачи на составление оптимальных смесей (рецептур, диет), раскроя материалов, транспортные проблемы и т. п. Особого подхода требуют задачи целочисленного и бивалентного (булева) программирования.

Нелинейное программирование приходится применять при нелинейных целевых функциях и/или ограничениях. Ограничения обычно имеют вид неравенств, что исключает решение классическим методом неопределенных множителей Лагранжа. Эти задачи решаются направленным поиском на основе градиента целевой функции, который в общем случае приводит к *локальному* экстремуму.

Динамическое программирование служит для поиска оптимальных многоэтапных решений (развития производственной или иной системы, долгосрочной стратегии замены оборудования, многозвенных транспортных маршрутов). Оно конструктивно использует *принцип оптимальности*, согласно которому всякое новое частичное решение должно быть оптимальным относительно достигнутого состояния. Динамическое программирование имеет исключительную методическую и *воспитательную* ценность, поскольку наглядно демонстрирует ошибочность популярного стремления урвать максимум «здесь и сейчас», не заботясь о последствиях.

Графы охватывают многоообразный комплекс сетевых задач: кратчайший путь, наиболее длинный путь (проблема управления сложными комплексами работ — проектных, строительных, подготовки запуска космических аппаратов и т. д.), наибольший поток, выявление критических звеньев сети, анализ структуры коллектива (отношения доминирования, микрогруппы, коалиции и их устойчивость и т. п.).

Теория решений рассматривает вопрос об оптимальном поведении при неопределенности (игры с природой) и конфликтных интересах сторон («стратегические» игры), а также при возможных компромиссах. Сюда же можно отнести «дифференциальные» игры, связанные с оптимальным перехватом уклоняющейся цели.

Теория запасов [196, 208, 215] изучает методы расчета такой организации восполнения запасов, при которой суммарные затраты на поставки, хранение избыточного запаса и «штрафы» за неполное удовлетворение спроса минимальны, а дополнительные ограничения выполнены.

Теория массового обслуживания [62, 200, 208] имеет дело со случайными процессами накапливания и рассасывания очередей при различных характеристиках входящего потока и процесса обслуживания (число каналов, вид и параметры распределения длительности обслуживания, порядок выборки из очереди).

Динамика боя рассматривает подходы к определению потенциала противоборствующих сторон и оценку влияния на ход и исход боевых действий таких факторов, как начальная численность боевых единиц, мощность боеприпасов, скорострельность, точность стрельбы, рассредоточенность и степень защищенности боевых единиц, упреждение в начале боевых действий, перенацеливание в процессе их развития и пр.

Приведенный перечень, разумеется, не является исчерпывающим. Кроме того, следует отметить многочисленные переплетения между названными направлениями (линейное программирование и теория игр; графы, динамическое программирование и транспортные задачи; управление запасами и теория массового обслуживания [208, 215] и др.).

7.5. Элементы теории игр и статистических решений

Во многих военных и научно-технических задачах приходится сталкиваться с проблемой принятия решений в условиях неопределенности. Неопределенными могут быть как объективные условия выполнения операции, так и сознательные действия противника или других лиц, от которых в той или иной степени зависит успех операции. Принятые в таких условиях решения оказываются не столь эффективными, как в полностью детерминированной ситуации, и *снижение эффективности можно рассматривать как ущерб от неполноты информации*. Тем не менее, количественный анализ ситуации все же может помочь принять наилучшее решение. Математические методы выработки оптимального поведения в условиях неопределенности составляют предмет теории игр и статистических решений.

7.5.1. Основные понятия и определения теории прямоугольных игр

При решении практических задач исследования операций приходится анализировать конфликтные ситуации, в которых взаимодействующие стороны преследуют *различные* цели. Любое решение в таких случаях должно приниматься с учетом противодействия разумного противника. К конфликтным ситуациям приводят задачи динамики боевых действий, процессы перехвата уклоняющейся (обороняющейся) цели, радиопротиводействия, выбора систем вооружения и т. п. В области экономики к ним можно отнести (в условиях конкуренции) борьбу торговых и промышленных фирм, в сфере социальной — действия защиты и обвинения в судопроизводстве, проведение аукционов, спортивные состязания и т. п.

Непосредственно взятая из практики конфликтная ситуация обычно осложняется множеством второстепенных факторов. Чтобы сделать ее математический анализ возможным, надо отвлечься от всех несущественных деталей. Упрощенная и формализованная модель реальной конфликтной ситуации называется *игрой*. От реальной ситуации игра отличается тем, что она ведется по *правилам*, определяющим возможные варианты действий участников, объем информации одной стороны о состоянии и действиях другой, порядок чередования действий сторон и количественный результат, к которому приводит данная совокупность действий. Хорошим примером формализованных моделей конфликтных ситуаций служат «салонные игры» — шашки, шахматы, карточные игры и т. п. Именно из них заимствована основная часть терминологии теории игр: стороны, участвующие в конфликте, называются *игроками*, исход конфликта — *выигрышем*, действия сторон — *ходами*. Игра двух игроков называется *парной*.

При многосторонних играх их участники могут играть каждый за себя или образовывать *коалиции*. В последнем случае они принимают соглашения о координации своих стратегий и разделе полученного выигрыша (проигрыша). Важное прикладное значение имеют *дифференциальные игры* с континуальными множествами стратегий сторон. Примерами могут служить задачи поиска подводной лодки и перехвата уклоняющейся цели. Ниже для простоты и наглядности рассматривается парная игра с конечными множествами стратегий сторон.

Развитие игры во времени представляется последовательностью поочередных ходов. Ходы делятся на личные и случайные. Личным ходом называется сознательный выбор игроком одного из возможных вариантов его действий (например, каждый ход в шахматах). Случай-

ным именуется выбор из ряда возможностей, осуществляемый не решением игрока, а каким-либо случайным механизмом (бросание игральной кости, выбор карты из перетасованной колоды). Для каждого случайного хода правила игры определяют распределение вероятностей возможных исходов.

Стратегия игры есть правило выбора вариантов действий при каждом личном ходе этого игрока в зависимости от ситуации, сложившейся в процессе игры. Если стратегия для каждой ситуации задана распределением вероятностей $\{p_i\}$ выбора i-го варианта действий, то она называется *смешанной*. Детерминированный выбор i-го варианта ($p_i = 1; \quad p_j = 0$ для всех $j \neq i$) в каждой ситуации соответствует *чистой* стратегии. В зависимости от числа стратегий каждой из сторон игры делятся на конечные и бесконечные.

Каждому отдельному конфликту может быть поставлена в соответствие *партия* игры, состоящая, вообще говоря, из множества ходов каждой из сторон. Игра заканчивается определением ее результата. Обычно его можно, хотя бы условно, выразить числом: например, в шахматной игре выигрышу приписать значение 1, проигрышу — 0, ничьей — 1/2. В результате мы приходим к понятию *платежной функции*, определяющей выигрыш каждого из игроков в зависимости от стратегий сторон. Выигрыш первого игрока И$_1$ при паре выбранных стратегий $\{s_i, t_j\}$ есть $L_1(s_i, t_j)$. Аналогично для второго игрока И$_2$ выигрыш есть $L_2(s_i, t_j)$.

Во многих конфликтных ситуациях (захват территории противника в процессе боевых действий, борьба финансовых групп и т. п.) выигрыш одного игрока равен проигрышу другого, так что $L_1(s_i, t_j) + L_2(s_i, t_j) = 0$. В этих случаях говорят об *играх с нулевой суммой*. Такая игра полностью описывается платежной матрицей одного из игроков (для определенности — первого):

$$L = \{L_1(s_i, t_j)\} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1n} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{m1} & L_{m2} & \dots & L_{mn} \end{bmatrix}.$$

Предполагается, что И$_1$ имеет m, а И$_2$ — n чистых стратегий.

7.5.2. Верхняя и нижняя цена игры. Седловой элемент.

Если И$_1$ выбирает стратегию s_i, то его выигрыш при стратегиях И$_2$ определяется элементами i-й строки матрицы L, и ему обеспечен вы-

игрыш не меньше числа $v_i = \min_j L_{ij}$. Оптимальной стратегией И$_1$ является та, которая обеспечивает ему максимальный выигрыш

$$V = \max_i v_i = \max_i \min_j L_{ij}.$$

Число V как максимум из минимумов называется *нижней ценой игры*. Если этот максимум достигается при $i = i_0$, то для И$_1$ оптимальна стратегия s_{i_0}. С другой стороны, при выборе игроком И$_2$ стратегии t_j проигрыш И$_2$ задается элементами j-го столбца платежной матрицы и не превышает $w_j = \max_i L_{ij}$. В интересах И$_2$ проиграть как можно меньше. Он выберет ту из своих стратегий t_{j_0}, при которой

$$w_{j_0} = W = \min_j \max_i L_{ij}.$$

Число W называется *верхней ценой игры* и устанавливает верхнюю границу для проигрыша второго (или выигрыша первого) игрока. Очевидно, $V \le W$, т. е.

$$\max_i \min_j L_{ij} \le \min_j \max_i L_{ij}.$$

Этот подход к выбору сторонами своих стратегий называется *минимаксным* и соответствует предельно осторожным их действиям.

Если нижняя цена игры совпадает с верхней, то их общее значение $v = V = W$ называют *ценой игры*. Указанное совпадение имеет место для матриц, обладающих *седловым элементом* $L_{i_0 j_0} = \max_i L_{ij_0} = \min_j L_{i_0 j}$ (он одновременно является минимальным в строке i_0 и максимальным в столбце j_0). Невыгодность для обоих игроков уклонения от стратегий $\{s_{i_0}, t_{j_0}\}$ порождает *устойчивость* их применения.

7.5.3. Смешанные стратегии

Если платежная матрица не имеет седлового элемента, то игроки должны чередовать свои стратегии некоторым случайным образом, т. е. пользоваться *смешанными* стратегиями. Матрица игры перед расчетом оптимальных смешанных стратегий подвергается *редукции* — из нее вычеркиваются строки и столбцы, заведомо невыгодные для соответствующих сторон. Игры размера $m \times 2$ и $2 \times n$ могут быть решены графическими способами. В более сложных ситуациях задача сводится к проблеме линейного программирования или решается имитационным моделированием процесса игры с заданной платежной матрицей (метод итераций — см. [62]).

Рассмотрим способы реализации смешанных стратегий. Основной областью применения теории игр является военное дело. Возникающие здесь игровые задачи можно условно разделить на два класса: «тактические» и «технические». Под «тактическими» задачами понимаются проблемы выбора тех или иных организационных способов ведения боевых действий: распределение сил между объектами обороны, выбор варианта маневра, способа маскировки, длины волны для радиообмена и т. п. Здесь важнейшим условием успеха является неожиданность приема для противника. Как правило, принятие решения указанного класса возможно непосредственно в ходе боевых действий, и внесение в их выбор элемента случайности не является проблемой.

«Технические» задачи связаны с выбором рациональных конструктивных параметров боевой техники. Сразу же подчеркнем, что здесь речь идет не о тех параметрах, изменение которых возможно в широких пределах и в произвольный момент времени: их настройку (например, выбор конкретной длины волны для радиопередатчика) правильнее рассматривать как тактический прием. Решение технического плана (например, выбор системы вооружения самолета-перехватчика) оказывается более долгосрочным, и даже такое несложное решение, как выбор типа снарядов для авиационной пушки (бронебойные или зажигательные), после вылета изменить уже нельзя.

В подобных задачах удобно применять «физическую смесь» стратегий, например комплектовать патронную ленту снарядами разных типов в случайном порядке, но в заданной пропорции.

7.5.4. Задачи теории статистических решений

До сих пор, рассматривая проводимые в условиях неопределенности операции, мы связывали эту неопределенность с неизвестным для нас поведением противника. Иногда неопределенность, сопровождающая операцию, порождается просто незнанием условий, в которых она будет выполняться. Например, могут быть заранее не известны момент отказа апаратуры, объем подлежащих выполнению вычислительных работ, фактическая потребность в горючем или в запасных частях и т. п.

Если в роли второго игрока, влияющего на исход операции, выступает объективная действительность, говорят об *играх с природой*, или статистических играх. Тогда первый игрок именуется статистиком.

Задача статистика состоит в принятии некоторого решения из множества $S = \{s_1, s_2, \ldots, s_m\}$ его чистых стратегий. Выбирая решение s,

он получает выигрыш $L(\theta, s)$, зависящий как от принятого решения s, так и от неизвестного ему состояния природы θ. Выигрыш может быть задан либо аналитическим выражением для $L(\theta, s)$, либо, как и в теории стратегических игр, матрицей $\{L_{ij}\}$. В последнем случае предполагается, что как статистик, так и природа имеют конечное множество стратегий. В дальнейшем будет рассматриваться именно такой вариант.

До сих пор мы обсуждали сходство в задачах теории игр и статистических решений. Однако между ними имеется принципиальное различие. В стратегических играх предполагается, что противник является активным и «злонамеренным», т. е. сознательно предпринимает наименее выгодные для нас действия. Это обстоятельство уменьшает имеемую в задаче неопределенность. Оно позволяет исключить из рассмотрения те стратегии противника, над которыми доминируют другие.

В статистических играх одна из сторон — «природа» — *выгоды не ищет* и может применить любую из своих стратегий (точнее, оказаться в любом из возможных состояний). Поэтому редукция статистической игры возможна только по стратегиям активной стороны.

Для задачи теории статистических решений характерна множественность возможных подходов к оценке «действий» природы.

Еще одна особенность игр с природой состоит в том, что элементы платежной матрицы традиционно выражают *убытки* активной стороны, а не получаемый ею выигрыш.

Минимаксные стратегии. Введем матрицу платежей статистика

$$L = \begin{bmatrix} 10 & 50 & 40 \\ 20 & 15 & 30 \\ 34 & 25 & 12 \end{bmatrix}. \tag{7.1}$$

Минимаксный критерий Вальда

$$H_W = \min_i \alpha_i, \tag{7.2}$$

где $\alpha_i = \max_j L_{ij}$, основывается на предположении о наихудшем для нас состоянии. По этому критерию в данном случае должна быть выбрана вторая стратегия, так как $\min\{50, 30, 34\} = 30$ соответствует второй строке матрицы L. Критерий Вальда аналогичен подходу, применяемому в теории стратегических игр, и является крайне пессимистическим.

В некоторых задачах теории статистических решений (но не стратегических игр!) возможен подход с позиций крайнего оптимизма. Здесь

критерием служит

$$H_O = \min_i \beta_i, \tag{7.3}$$

где $\beta_i = \min_j L_{ij}$, и в нашем примере, поскольку $\min\{10, 15, 12\}$, должна быть выбрана первая стратегия.

Синтезом этих подходов является *критерий Гурвица*, в котором

$$H_G = \min_i [æ \cdot \alpha_i + (1 - æ) \cdot \beta_i]. \tag{7.4}$$

Коэффициент $æ$, $0 \le æ \le 1$, называется «показателем пессимизма-оптимизма». В самом деле, при $æ = 1$ этот подход приводит к крайне пессимистическому критерию Вальда, а при $æ = 0$ — к предельно оптимистическому критерию. Можно показать, что при заданной выше платежной матрице выбирается $\min\{10 + 40æ, 15 + 15æ, 12 + 22æ\}$ — в зависимости от пессимизма статистика.

Минимизация рисков. Вместо платежей в статистических играх часто используют понятие *риска*. Риском статистика r_{ij} при использовании стратегии s_i в ситуации θ_j называется разность между минимальным проигрышем, который он уплатил бы, зная ситуацию θ_j, и фактическим проигрышем при выбранном решении s_i. Таким образом, элемент матрицы риска

$$\tilde{L}_{ij} = L_{ij} - \min_j L_{ij}$$

может трактоваться как выгода, упущенная статистиком в результате выбора i-й стратегии вместо наилучшей возможной при состоянии природы θ_j. Построение матрицы риска особенно удобно для оценки качества управления. Отметим, что в работах экономистов в последние годы наблюдается неоправданное смешение понятий платежа и риска.

Применительно к задаче с платежной матрицей (7.1) матрица риска имеет вид

$$\begin{bmatrix} 0 & 35 & 28 \\ 10 & 0 & 18 \\ 24 & 10 & 0 \end{bmatrix}. \tag{7.5}$$

Все элементы матрицы риска неотрицательны, а в каждом столбце имеется по крайней мере один нулевой элемент, соответствующий оптимальной (при данном состоянии) стратегии.

Критерий Сэвиджа рекомендует принимать решения по минимуму максимального риска:

$$H_O = \min_i \rho_i, \tag{7.6}$$

где $\rho_i = \max_j \tilde{L}_{ij}$. В нашем примере $\rho_1 = 35$, $\rho_2 = 18$ и $\rho_3 = 24$. Следовательно, оптимальной по Сэвиджу, как и по Вальду, будет вторая стратегия статистика. Такое совпадение, вообще говоря, не обязательно.

Как и критерий Вальда, критерий Сэвиджа является крайне пессимистическим.

Применение любого критерия этой группы рекомендуется при полном незнании распределения состояний природы (исключается даже предположение о равных вероятностях), а также при малом числе повторений игры, когда не успевают проявиться свойства математического ожидания.

Байесовы стратегии. Рассмотренные выше стратегии основывались *лишь на перечне* $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_n\}$ возможных состояний природы, которые одновременно могут рассматриваться как ее чистые стратегии. Из прошлого опыта или теоретическим путем обычно удается установить априорное распределение вероятностей состояний $\{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$. На его основе статистик может принимать решения, *минимизируя математическое ожидание платежей*. Критерием здесь служит

$$H_B = \min_i \sum_j L_{ij} p_j.$$

Аналогичный подход возможен с позиций минимального ожидаемого риска:

$$\tilde{H}_B = \min_i \sum_j \tilde{L}_{ij} p_j.$$

Стратегии указанного типа носят название байесовых.

Покажем, что байесово решающее правило приводит к одной и той же оптимальной стратегии независимо от того, основана ли она на матрице платежей или на матрице риска. Вычислим разность среднего платежа и среднего риска для некоторой i-й стратегии:

$$\bar{\Delta}_i = \sum_{j=1}^{n} L_{ij} p_j - \sum_{j=1}^{n} (L_{ij} - \min_i L_{ij}) p_j = \sum_{j=1}^{n} \min_i L_{ij} p_j = \min_i \sum_{j=1}^{n} L_{ij} p_j.$$

Найденная разность не зависит от выбранной стратегии s_i. Отсюда следует, что минимумы ожидаемого риска и ожидаемых платежей достигаются одновременно, т. е. при одной и той же стратегии.

При отсутствии вероятностей, необходимых для реализации байесова подхода, могут быть применены субъективные оценки последних, в частности полученные обработкой суждений экспертов. Такие оценки широко используются при решении военно-технических задач.

При нехватке информации даже для этих оценок применяется принцип «недостаточного основания» Лапласа, согласно которому «состояния природы» считаются равновероятными. Тогда стратегию можно выбрать по минимуму суммы элементов в строках платежной матрицы. Субъективное назначение вероятностей состояний делает субъективным и конечный результат решения.

Аналоги байесова подхода к задачам статистических решений можно получить на основе теории *нечетких множеств* — см. [153, 158].

7.5.5. Многокритериальная оптимизация

По современным воззрениям, задача исследования операций обычно ставится как многокритериальная. Термин «многокритериальная задача» нельзя считать удачным, поскольку на самом деле имеется в виду множество *показателей* (или векторный показатель). Мы, однако, его сохраним — для взаимопонимания.

Решение, оптимальное по одному из показателей, может существенно отличаться от оптимального по другому. Решение многокритериальной задачи должно происходить в перманентном взаимодействии с ЛПР (лицом, принимающим решения). Задача сводится к одной или нескольким последовательно решаемым задачам, для каждой из которых оптимизируется свой скалярный показатель качества решения. Возможные варианты: метод главной компоненты, метод компромиссов, последовательных уступок, лексикографический и др.

Процесс решения начинается с поиска недоминируемых (не допускающих улучшение одновременно по всем показателям) решений, образующих *множество Парето*. Показатели ранжируются по убыванию важности, и для каждого из них назначаются допустимые относительные уступки. Далее последовательно выполняется однокритериальная оптимизация по каждому из показателей с переводом прочих в ограничения с упомянутыми «уступками». Если решения нет, то критические ограничения ослабляются («уступки» увеличиваются). Полученные решения предъявляются ЛПР — до получения приемлемого.

Другой подход состоит в свертке частных показателей с помощью коэффициентов важности. Тогда задача сводится к однокритериальной: оптимизации *взвешенной* суммы частных показателей. Этот подход многим молодым ученым кажется наиболее простым. Однако назначение коэффициентов важности должно производиться *на научной основе* — любые элементы волюнтаризма ставят под сомнение научную и практи-

ческую ценность диссертации. Заметим, что решение все равно должно быть сопоставлено с элементами множества Парето.

7.6. Имитационное моделирование

7.6.1. Идея метода

Имитационное моделирование определяется как компьютерное воспроизведение развертывания во времени функционирования моделируемой системы (ее переходов из одного состояния в другое в соответствии с определенными правилами), является частным случаем математического и описывает функционирование объектов, процессов или систем набором алгоритмов. Для каждого типа событий создается программа их обработки, которая описывает происходящие при его наступлении изменения состояния. Внутри подпрограмм время не продвигается. Управляющая программа отслеживает события в модельном времени с сохранением логической структуры подпроцессов и последовательности их протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет по исходным данным получить сведения о вероятностных характеристиках процесса или системы к определенному моменту модельного времени.

Имитационное моделирование может воспроизводить любой марковский (полностью определяемый своим текущим состоянием) процесс. Его идею мы рассмотрим на примере анализа *системы массового обслуживания* — задачи, типичной для процессов эксплуатации любого вида техники, передачи сообщений и необозримого множества других приложений, связанных с задержками в очередях.

В качестве *цели* моделирования выберем получение оценок моментов распределения времени ожидания начала обслуживания заявок и распределения числа заявок в системе. Время прибытия очередной заявки и время освобождения занимаемого канала получим добавлением к текущему модельному времени случайного интервала между заявками и случайной длительности обслуживания соответственно. Упомянутые интервалы формируются посредством датчиков псевдослучайных чисел, настроенных на требуемые законы распределения. На рис. 7.6 приведена структурная схема алгоритма моделирования n-канальной системы.

Модель отслеживает события двух упомянутых классов. Управление прогонами производится по числу обслуженных заявок. Схема рассчитана на выполнение пяти прогонов по 1000 наблюдений с выдачей промежуточных результатов в конце каждого из них. Обозначения на схеме поясняются по ходу ее описания.

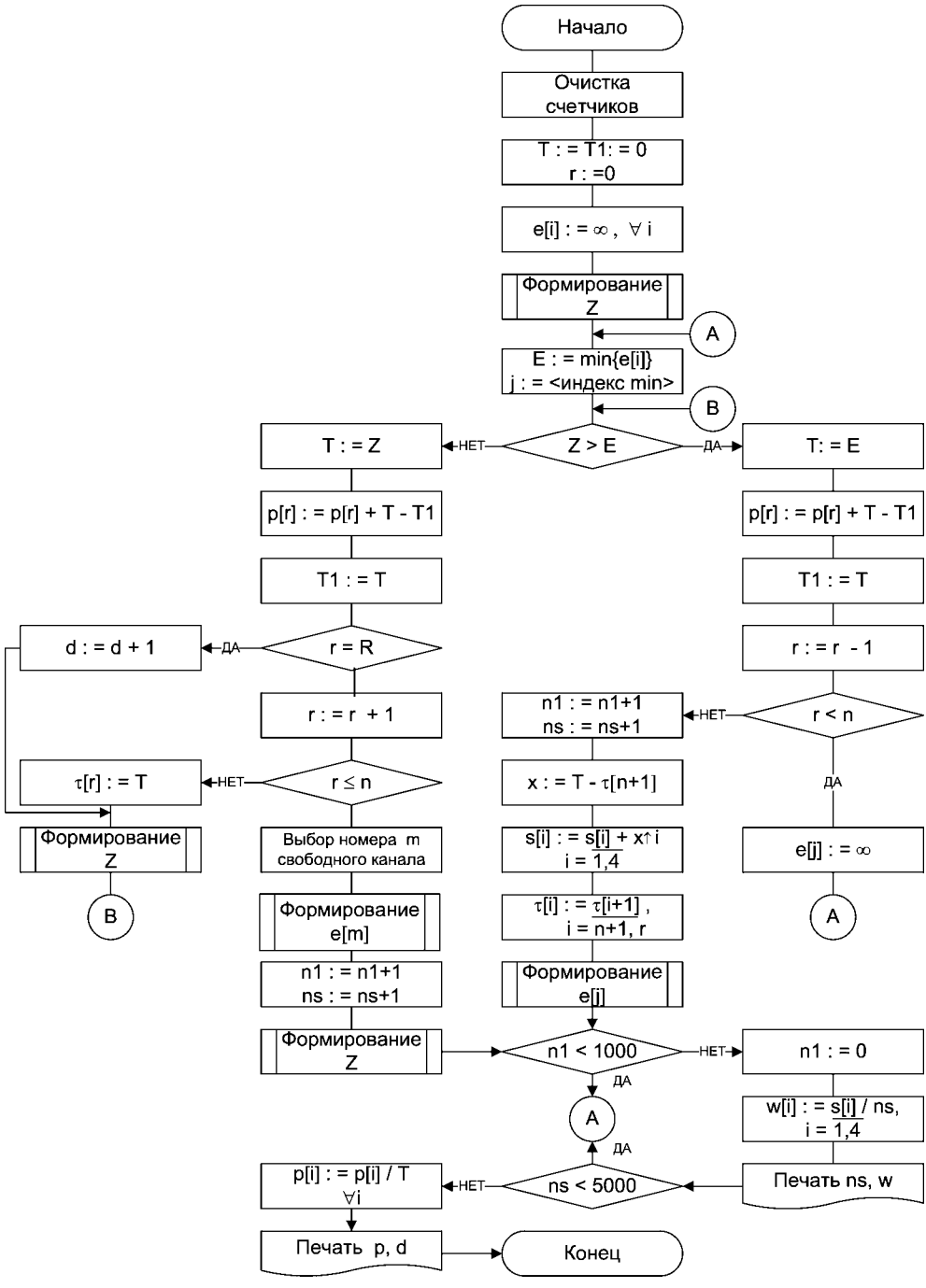

Рис. 7.6. Структурная схема имитационной модели

Работа модели начинается с установки в нуль таймера (счетчика модельного времени) T, момента предыдущего события $T1$ и всех остальных накапливающих счетчиков. Моменты $\{e[i]\}$ завершения текущих обслуживаний полагаем равными бесконечности (реально — числу, заведомо превышающему предельное значение таймера в прогоне).

Далее формируется момент Z прибытия заявки и выбираются E — минимальный из моментов $\{e[i]\}$, и индекс минимума j. Вариант обработки текущего события определяется соотношением между Z и E. Если $Z \leq E$, то ближайшим событием в системе является прибытие заявки. Соответственно, продвигается таймер T, к счетчику $p[r]$ времени пребывания системы в состоянии с r заявками добавляется разность $T - T1$ и обновляется значение $T1$. Если новая заявка застает в системе предельное число R ранее прибывших, то к счетчику отказов d добавляется единица. Затем формируется момент Z прибытия новой заявки. При наличии в системе свободного места текущее число заявок r увеличивается на единицу и проверяется, есть ли свободные каналы.

Если $r > n$, то их нет, для вновь прибывшей заявки запоминается момент $\tau[r]$ прибытия и формируется очередная заявка. В обоих рассмотренных случаях мы выходим на сравнение E с обновленным Z.

При $r \leq n$ в системе имеется хотя бы один свободный канал. Тогда определяется его номер m; в элементе массива $e[m]$ формируется момент освобождения m-го канала; корректируются счетчики случаев ожидания $n1$ и ns (длительность ожидания в данном случае нулевая, и соответствующие счетчики времени ожидания не изменяются); формируется момент прибытия новой заявки; при $n1 < 1000$ происходит возврат к выбору $\min_i\{e[i]\}$ (один из элементов этого массива обновляется).

В случае $Z > E$ очередным событием оказывается завершение начатого обслуживания. Здесь также продвигается таймер, пересчитывается счетчик $p[r]$ времени пребывания в состоянии r, обновляется момент последнего изменения состояния $T1$. Затем число r заявок в системе *уменьшается* на единицу. Если $r < n$, то очереди в системе нет, в массив e для освободившегося j-го канала записывается «бесконечность» и выполняется переход на выбор $\min_i\{e[i]\}$.

При $r \geq n$ в системе существует очередь, и в освободившийся канал будет выбрана на обслуживание новая заявка. Соответственно увеличиваются на единицу счетчики $n1$ и ns случаев выбора на обслуживание, вычисляется время x ожидания начала обслуживания головной заявкой очереди. Далее этот x и его последовательные степени добавляются к счетчикам $\{s[i]\}$, накапливающим данные для расчета момен-

тов распределения времени ожидания. Затем продвигается очередь (точнее, записанные в ней моменты $\{\tau[i]\}$ прибытия в систему ожидающих заявок) и формируется время $e[j]$ освобождения занимаемого j-канала.

При содержимом счетчика $n1 < 1000$ модель возвращается на выбор $\min\limits_i\{e[i]\}$. При $n1 = 1000$ прогон серии заканчивается, счетчик $n1$ обнуляется, рассчитываются и выводятся на печать оценки $\{w[i]\}$ моментов распределения времени ожидания (вместе с текущим значением ns). Указанные промежуточные выдачи нужны для контроля темпа прохождения модели, а также для оценки влияния на результаты начальных условий и выполненного числа испытаний. После достижения $ns = 5000$ на печать выдаются стационарные вероятности $\{p[r]\}$, определяемые как доля общего времени T, в течение которого в системе находилось ровно r заявок, а также количество d отказов в приеме на обслуживание. На этом моделирование заканчивается.

Благодаря возможности достаточно полного отражения реальности (например, многокаскадного обслуживания, неоднородных потоков и каналов, блокировок из-за ограниченной емкости буферов, сложной системы приоритетных и иных дисциплин обслуживания, многономенклатурных ресурсов и т. п.), имитационное моделирование применимо к задачам, не поддающимся аналитическим и численным методам, причем усложнение задачи не создает никаких *принципиальных* трудностей. Отметим, в частности, чрезвычайно актуальное *агентное* моделирование [214]. Агенты — это автономные программные сущности, которые находятся в гетерогенной компьютерной среде и (совместно с другими агентами или в одиночку) обеспечивают достижение определенных целей. Агенты обладают свойствами автономности, социального поведения, инициативности и могут реагировать на внешние воздействия. Основой для разработки многоагентных систем служит объектно-ориентированное программирование. Типовой агент включает в себя ментальную модель агента, его сервисы (оказываемые им услуги) и модель поведения. Названные компоненты «персонифицируются» применительно к задачам каждого конкретного агента.

Недостатками имитационного моделирования являются:

- большой расход машинного времени;
- малая точность вероятностных характеристик редких событий;
- сложность оптимизации системы (поиск оптимума ведется при наличии вероятностных помех — случайных ошибок в результатах);
- трудность получения обобщающих выводов и рекомендаций.

7.6.2. Понятие о методах понижения дисперсии

Длина доверительного интервала для получаемых оценок обратно пропорциональна квадратному корню из числа наблюдений, так что для получения дополнительного верного десятичного знака требуется стократное увеличение числа испытаний. Имеются возможности (к сожалению, редко используемые) повысить точность результатов уменьшением дисперсии наблюдаемых случайных величин посредством одного или нескольких из перечисленных ниже способов:

- выбор величин с наименьшей дисперсией;
- применение контрольных переменных;
- организация дополняющих или параллельных выборок;
- условная имитация.

Как пример первого из этих подходов укажем определение моментов времени *пребывания заявки* в системе через найденные с помощью модели моменты распределения ожидания и *теоретические* моменты распределения чистой длительности обслуживания (последние предполагаются априорно известными точно, и их учет через модель только увеличит разброс результатов).

Метод *контрольных переменных* заключается в использовании известных из теории соотношений между наблюдаемыми в модели величинами для уменьшения разброса их оценок.

Понятия *дополняющих и параллельных выборок* связаны со способом формирования используемых в модели псевдослучайных величин. Эти величины получаются пересчетом к требуемым законам распределения серий псевдослучайных чисел $\{U_i\}$, равномерно распределенных на интервале $[0,1)$ и формируемых специальной подпрограммой — датчиком случайных чисел (ДСЧ). В методе дополняющих выборок усредняются результаты двух прогонов — при числах $\{U_i\}$ и их дополнениях до единицы $\{1-U_i\}$.

Параллельные выборки используются для сравнения двух вариантов модели на базе *одной и той же* серии $\{U_i\}$.

При длинных прогонах желательно иметь ДСЧ с максимальной длиной периода. Если правило вычисления U_{i+1} зависит только от U_i, то длина периода не превосходит количества M различных чисел. Если же $U_{i+1} = f(U_{i-1}, U_i)$, то максимальный период равен M^2. С помощью теории чисел можно выбрать правило так, чтобы период был близок к максимальному значению.

Условная имитация в основном сводится к комбинации моделирования и аналитических расчетных методик. К примеру, вероятность редкого события определяется как произведение условных вероятностей, каждая из которых значительно больше искомой и, следовательно, вычисляется моделированием с приемлемой погрешностью. При моделировании процессов в резко изменяющихся условиях целесообразно разделить выборку на *слои* с малым разбросом результатов внутри каждого, а затем усреднить результаты слоев с учетом вероятностей принадлежности наблюдения к каждому из них. Такой подход широко применяется в демографической статистике и при обработке результатов опроса общественного мнения.

Более подробные сведения об организации имитационного моделирования и дополнительная литература приводятся в [211].

7.6.3. Языки моделирования

Любой алгоритм моделирования может быть записан на обычном процедурно-ориентированном языке программирования. Преимуществами подобной организации работы являются:

- возможность работы на практически любой ЭВМ;
- отсутствие необходимости в специальном программном обеспечении и его изучении;
- «прозрачность» логики модели;
- доступность встроенных функций, библиотечных подпрограмм, инструментов статистического анализа, редактирования вывода и других возможностей, обычно предоставляемых системами программирования широкого назначения;
- отсутствие ограничений на состав и логику модели, исключая налагаемые конфигурацией моделирующей вычислительной установки и режимом ее использования;
- возможность управления экспериментом, необходимая, в частности, для реализации методов уменьшения дисперсии результатов.

Опыт программирования на языках типа *ПЛ/1* и *Фортран* показал, что составление имитационных моделей на них весьма трудоемко по следующим причинам:

- в связи с усложнением моделируемых систем постоянно возрастает количество элементов и отслеживаемых процессов;
- имитационные модели сложны в отладке из-за богатой логики, взаимной зависимости ветвей алгоритма, большой трудоемкости прогонов и низкой точности результатов, способной в ряде случаев замаскировать ошибку;
- даже незначительные изменения модели требуют внесения в программу многочисленных поправок и проведения отладки практически заново.

Выходом может служить использование некоторых стандартных схем в качестве моделей *классов* систем. Возможность создания типовых моделей базируется на двух обстоятельствах:

1. Даже в сложных моделях с тысячами элементов количество *видов* действий остается весьма ограниченным. Такие действия естественно описывать как подпрограммы — при необходимости с дополнительными параметрами.
2. Имитационные модели достаточно широких классов реальных процессов (работа комбината бытового обслуживания, вычислительной системы коллективного пользования, проведение ремонтных и регламентных работ на технике, распространение эпидемии и борьба с ней, снабжение запчастями ракетной базы в период боевых действий и т. п.) имеют сходную логику, определяемую общей математической моделью.

Языки моделирования позволяют писать имитационные программы в такой форме, которая напоминает описание моделируемой системы, и притом так, что малым изменениям системы соответствуют малые изменения в программе. Это обеспечивает уже при минимальном опыте быстроту и правильность составления программ моделирования. Чем у́же проблемная ориентация, тем меньше работы по программированию. В пределе можно добиться полной параметризации системы, и тогда задание конкретной модели будет состоять лишь в указании ее структуры и числовых значений параметров. Наиболее известными системами моделирования являются *GPSS* (см. ниже) и ее аналоги.

Несомненными преимуществами языков моделирования являются:

1. Упрощение логики описания модели.

2. Избавление программиста от многих технических деталей.

3. Автоматический контроль синтаксической корректности входной программы.

Все это работает на ускорение создания модели.

Общими *недостатками* специализированных систем моделирования являются:

1. Необходимость освоения дополнительных систем программирования, зачастую плохо документированных, нестабильных и существующих во множестве несовместимых версий.

2. Ориентация на ограниченный класс моделей и, как следствие, — неудобство или невозможность составления моделей, не входящих в этот класс.

3. Трудность сбора и обработки результатов, не предусмотренных встроенной логикой, а также нестандартной обработки.

4. Повышение трудоемкости реализации модели, которое является неизбежной платой за ее универсальность.

5. Ограниченные возможности управления экспериментом, затрудняющие реализацию методов уменьшения дисперсии результатов.

7.6.4. Понятие о GPSS

Общая характеристика. Созданная в начале 1960-х гг. общецелевая система имитационного моделирования *GPSS* [227, 259] по сию пору остается самым популярным языком имитационного моделирования в мире. Ее использовали в учебном процессе более 100 российских вузов.

Модель *GPSS* состоит из сети *блоков*, представляющих необходимые действия или задержки сообщений — *транзактов*, которые последовательно проходят через блоки. Например, блок `GENERATE` вводит в модель новые транзакты, воспроизводя *рекуррентный* поток заявок с требуемым распределением интервалов между смежными заявками. Транзакты могут представлять собой клиентов, покупателей, ремонтируемые телевизоры, телефонные звонки, электронные сигналы и т. п.

Транзакты перемещаются в системном времени и системном пространстве, переходя от одного блока модели к другому и оказывая некоторое воздействие на них. Транзакты возникают и уничтожаются,

могут расщепляться и сливаться. Входя в блок, транзакт вызывает определяемую типом блока подпрограмму, которая обрабатывает соответствующее событие. Далее транзакт в общем случае пытается войти в следующий блок. Продвижение продолжается до тех пор, пока не окажется, что очередной блок должен выполнить одну из следующих функций:

- удалить транзакт из модели;
- временно заблокировать его в предыдущем блоке до выполнения некоторых условий;
- задержать его на определяемое моделью время.

Тогда начинается продвижение другого транзакта, и т. д. — до завершения моделирования. Имеется возможность расщепления транзакта на вторичные с последующей их синхронизацией и сборкой.

За один шаг работы управляющей программы производится поочередный просмотр всех имеющихся процессов и имитация тех, которые могут быть запущены. При этом может освободиться ранее занятый ресурс или оказаться порожденным процесс более высокого приоритета. Тогда просмотр списка процессов можно начать сначала.

Описание траектории транзакта содержит порядок и имена используемых им «устройств» (приборов обслуживания) или «памятей»; временны́е задержки; логические условия, управляющие продвижением транзактов; точки маршрута, в которых производится сбор данных об ожидании или контролируется время прохождения, и т. п. Параметры транзактов могут менять свои значения на траектории.

Радикальные улучшения *GPSS* произошли с переходом к *Windows*-версиям, студенческие варианты которых распространяются бесплатно через Интернет (электронный адрес `www.minutemansoftware.com`). Принципиальные особенности *GPSS World* можно сгруппировать в несколько разделов:

1. Каждая разработка в духе современных технологий программирования рассматривается как *проект* (эта терминология в электронной документации к системе не используется). Проект состоит из объектов четырех типов: исходный модуль, Имитация (с большой буквы — продукт компиляции), отчеты и текстовые файлы.

Для каждого из шагов проекта есть свои *инструменты*: текстовый редактор, пункт `Create Simulation` в меню `Command`, множество окон контроля и команд управления моделированием, автоматический

генератор отчетов, средства настройки структуры отчета, инструментарий статистического анализа.

2. Интерфейс ориентирован на пользователя. Полноэкранный текстовый редактор реализует стандартные функции *Windows* — выделение текста, работа с буфером `Clipboard`, управление типом и размером шрифтов `TrueType`, операции с файлами. Возможна замена ранее используемого вместо знака умножения символа # на привычную *. Компилятор формирует *список* синтаксических ошибок, обеспечивает автоматический подвод курсора к месту очередной ошибки и вывод диагностики в статусную строку.

Динамика модели может отслеживаться как в числовой, так и в графической форме с помощью окон 20 разных типов — в зависимости от класса отображаемых сущностей. В окна можно выводить стандартные числовые атрибуты и накопленную статистику. Для отладки логики модели в особо сложных случаях используются снимки мгновенного состояния цепей событий — `Snapshots`. Имеются средства интерактивного ввода команд, контрольных остановов и трассировки. Результаты моделирования могут быть автоматически представлены в виде гистограмм.

3. Резко расширены вычислительные возможности. Отменены обязательная целочисленность операндов и принудительное округление результатов. Максимальная размерность матрицы увеличена до шести. Язык описания моделей дополнен языком программирования расчетов *PLUS*, близким к традиционным алгоритмическим. На нем можно записывать как выражения для операндов блоков, так и процедуры пользователя, в том числе содержащие циклы и разветвления. Это практически сняло ограничения на формируемые результаты и способы их обработки. Перечень встроенных математических функций дополнен средствами генерации случайных чисел для 20 законов распределения, что избавляет пользователя от необходимой ранее табличной аппроксимации их. Появились операции с файлами.

4. Система берет на себя стандартную статистическую обработку результатов моделирования. Появившаяся в *GPSS/PC* команда `ANOVA` однофакторного дисперсионного анализа заменена многофакторным эквивалентом. Имеются средства автоматической разработки и проведения статистических экспериментов (включая дробные факторные) по регрессионному анализу и оптимизации моделей.

Пример программы. Ниже представлен пример *GPSS*-программы моделирования простейшей одноканальной системы обслуживания — с

показательно распределенными интервалами распределения интервалов между смежными заявками и длительностей обслуживания.

Комментарии в *GPSS*-программе могут открываться звездочкой в начале строки или продолжать текст оператора (после точки с запятой). Комментарии даны по-русски для первого знакомства читателя с системой: *программа, содержащая кириллические символы (в том числе в комментариях и в выводимых строках), работать не будет.*

```
*****************************************************
*                    M/M/1 MODEL                    *
*****************************************************
                    ; Основной сегмент

1 GENERATE   (Exponential(1,0,1))   ; Генерация заявок
2 QUEUE      Wait                   ; Начало ожидания
3 SEIZE      Chan                   ; Занятие канала
4 DEPART     Wait                   ; Конец ожидания
5 ADVANCE    (Exponential(2,0,0.9)) ; Задержка на обслуж.
6 RELEASE    Chan                   ; Освобождение
7 TERMINATE                         ; Конец истории
                    ; Сегмент таймера

8 GENERATE   50000,,,1              ; Момент окончания
9 TERMINATE 1                       ; Конец моделирования
*****************************************************
```

Модель состоит из двух сегментов. Первый описывает типовую «биографию» направляемой на обслуживание заявки. Во втором генерируется единственный (см. четвертый параметр GENERATE) транзакт, который обеспечивает завершение моделирования при значении таймера модели 50 000 (первый параметр). Отдельный сегмент таймера убыстряет работу модели, так как не требует проверки числа обслуженных заявок для каждого транзакта. Кроме того, этот вариант позволяет при необходимости организовать *заключительную* обработку, выполняемую однократно после завершения сбора статистики и вставляемую непосредственно перед TERMINATE 1. В каждом сегменте модели имеется отдельная пара блоков GENERATE — TERMINATE, но только один из TERMINATE может задаваться с параметром, вычитаемым из счетчика завершений. Начальное значение последнего загружается «с пульта» командой START. При обнулении счетчика моделирование прекращается.

Теперь обсудим первый сегмент. В нем GENERATE формирует неограниченное число заявок через экспоненциально распределенные моменты времени, доставляемые встроенной функцией EXPONENTIAL (раньше приходилось задавать таблицу обратной ДФР для каждого используемого закона). Первый параметр указывает номер используемого ДСЧ (1), второй — нулевое смещение экспоненты, третий — среднее значение (1).

Вошедшая заявка отмечается в очереди QUEUE по имени Wait и пытается захватить (SEIZE) канал обслуживания Chan. Если он занят, транзакт помещается в связанную с ним цепь задержки, которая просматривается в моменты освобождения устройства. Если устройство свободно, то блок DEPART фиксирует конец ожидания в очереди Wait. Соответственно накапливается статистика, связанная с этой очередью. Отметим, что эта пара блоков определяет только *сбор статистики* по данной очереди: их отсутствие не повлияет на реальное существование и динамику очередей.

Захватившая устройство заявка задерживается в нем (блок ADVANCE) на интервал с показательно распределенной длительностью и средней задержкой 0.9. Для его формирования используется другой (второй) ДСЧ. Коэффициент загрузки системы $\rho = \lambda b/n = 1.0 * 0.9/1 = 0.9$. По истечении интервала блок RELEASE Chan освобождает канал, и траектория транзакта заканчивается *без воздействия на счетчик завершений*.

Обращают на себя внимание исключительная простота и логичность обсуждаемого текста (по крайней мере, в этом элементарном случае) в сравнении с программой модели на алгоритмическом языке общематематического назначения. Отметим, однако, необходимость знания множества технических деталей — в первую очередь связанных с позицией и смыслом аргументов блоков.

По результатам прогона программы автоматически формируется отчет, содержание которого зависит от состава модели, и при необходимости корректируется через ее установки.

Тестирование GPSS World. Общим правилом работы с новым программным обеспечением математического характера является его тестирование на задачах с известным решением (предпочтительно аналитическим). Для обсуждавшейся выше системы $M/M/1$ теоретическая длина очереди $q = \rho^2/(1-\rho) = 0.9^2/(1-0.9) = 8.1$. Среднее время ожидания w в соответствии с формулой Литтла (закон сохранения стационарной очереди) должно быть равно q/λ и в данном случае ($\lambda = 1$)

численно совпадать со средней длиной очереди. Теоретическая вероятность незанятости системы равна $1-\rho=0.1$. Следовательно, в среднем десятая часть заявок должна получать обслуживание без ожидания.

Сопоставим с этими ожиданиями результаты моделирования при разных способах задания показательных распределений (`Exponential`, табличная ДФР и теоретически точное обращение $-\ln(1-U)$) и числе испытаний — табл. 7.1.

Таблица 7.1. Тестирование GPSS/W на модели $M/M/1$

Показатель	Exponential		Табличная ДФР		$-\ln(1-U)$	
	50 000	500 000	50 000	500 000	50 000	500 000
Коэффициент загрузки	0.896	0.899	0.900	0.900	0.909	0.902
Средн. время обслуживания	0.899	0.901	0.899	0.901	0.903	0.896
Число входов	49843	499032	50048	499390	50320	503176
Из них с нулевым ожиданием	5340	50691	5022	49823	4764	50498
Средняя длина очереди	5.132	6.690	7.770	7.911	7.163	6.831
Среднее время ожидания	5.148	6.703	7.763	7.920	7.118	6.788

В составлении приведенной программы было трудно ошибиться (к тому же она отличается от обсуждаемой у Дж. Шрайбера [259] на с. 57 и далее только типом распределения обслуживания). Формула Литтла и доля заявок, принимаемых к обслуживанию без ожидания, подтверждаются с достаточно высокой точностью. Это дает основания доверять интерпретатору $GPSS/W$. Показатели, определяемые только *средними* значениями моделируемых первичных величин (среднее время облуживания и коэффициент загрузки), также вполне приемлемы.

Время ожидания зависит уже от *двух* моментов распределения времени обслуживания — см. формулу (4.1). Результаты, связанные с ожиданием, оставляют желать лучшего даже в случае с теоретически точным переходом от равномерного к экспоненциальному распределению. Причина здесь может быть только одна: недостаточно качественный генератор равномерных псевдослучайных чисел.

В дополнение к приведенным результатам отметим, что для системы $M/M/1$ распределение времени пребывания заявки в системе также подчинено показательному закону со средним $1/(1/0.9-1/1)=9$. При работе с функцией `Exponential` и ограничителем таймера 200 000 была заказана гистограмма распределения времени пребывания; получены среднее значение 9.264 и среднеквадратическое отклонение 9.147. Требуемое для показательного распределения их равенство выполняется с хорошей точностью, однако погрешность значений составляет около 2 %. Для указанного числа испытаний это слишком много.

Обсудим, наконец, временны́е характеристики сравниваемых реализаций модели. Для достижения отметки таймера 500 000 (и обслуживания приблизительно такого же количества заявок) при табличной реализации логарифма и при работе с `Exponential` потребовалось практически одинаковое время — около 135 с (процессор Pentium 1/166). При точном обращении показательного распределения было затрачено 187 с. Прогон составленного на *Фортране 77* значительно более сложного аналога рассмотренной программы для тех же исходных данных дал среднюю длину очереди 8.683. Это заметно ближе к теоретической оценке, чем лучший из приведенных в таблице результатов. Прогон занял всего 6.26 с. Столь большая разница является естественной платой за универсальность интерпретатора *GPSS*. Окупается ли она удобством программирования — зависит от опыта и квалификации пользователя, его желания и возможностей освоить *GPSS*, наличных вычислительных мощностей, сложности моделей, частоты потребностей в моделировании.

Оценка GPSS World. *GPSS/W* является весьма ценным инструментом имитационного моделирования, свободным от ограничений аналитических и численных методов, достаточно «прозрачным», допускающим нестандартную обработку данных и снимающим с программиста множество нетривиальных проблем программирования и отладки моделей. Тем не менее приходится отметить наличие у нее ряда серьезных недостатков:

1. Громоздкость системы и явную перегруженность встроенными возможностями (многообразие примитивов).

2. Отсутствие концептуального единства. В подтверждение сошлемся на различие в обращении к элементам матрицы при простой ссылке и изменении значения. Вектор приходится задавать как матрицу с одной строкой. Нижняя граница индексов матрицы по любому измерению равна 1, что может нарушить естественность индексации (например, при расчете вероятностей состояний системы).

3. Неудачны обозначения операторов отношения `L, G, E` (было бы лучше согласовать с фортрановскими); функция `SQR` используется для квадратного корня (в *Паскале* так обозначается *квадрат*); состояние логических ключей описывается как `SET` и `RESET` (буквальный перевод — «установлен» и «установлен заново») вместо `ON`, `OFF`; операнд `RE` (традиционный смысл этой приставки — повторение действия) означает удаление, и было бы лучше применить `DEL`.

4. Недопустимость прерываний для «памятей», которые могут быть использованы для моделирования многоканальных устройств обслуживания и, следовательно, окажутся подвержены прерываниям.

5. Не допускается вывод в файл кириллического текста; отсутствуют средства управления *форматом* вывода.

6. Нельзя менять тип и разметку шкал графиков, а также цвет и структуру линий, что может сделать их неотличимыми друг от друга и/или от фона при черно-белом выводе.

7. Аргументом графиков может быть только время, так что распределение вероятностей состояний системы автоматически построить нельзя. Кстати, такой график обязательно потребует логарифмической шкалы, возможности реализации которой отсутствуют.

8. Возможности формальной оптимизации модели имеют ограниченную ценность, поскольку при решении реальных задач
   - количество каналов в узлах сети целочисленно;
   - производительность каналов выбирается из конечного множества значений;
   - на маршрутизацию заявок накладываются многочисленные ограничения, определяемые, в частности, технологией их обработки.

Работа на *GPSS* и других подобных языках безусловно оправдана при массовом создании моделей средней сложности. Эпизодическую разработку моделей умеренной сложности и создание проекта уникальной сложности программист с опытом работы на любом языке высокого уровня может вести на этом языке, хотя знакомство с основными понятиями *GPSS* подскажет ему ряд полезных технических приемов.

7.6.5. Имитация в диссертации

Идея и техника имитационного моделирования настолько просты, что освоить их можно в считанные дни. Поэтому его применение (исключая работу с методами понижения дисперсии и иное развитие традиционной технологии моделирования) не может считаться подтверждением высокой научной квалификации диссертанта. Тем не менее оно полезно:

- для сбора отсутствующих в реальной статистике исходных данных;
- для оценки правомерности допущений, которые пришлось сделать при построении аналитической модели;
- для оптимизации проектируемой системы — *в диалоговом режиме*;
- для окончательной проверки рекомендаций соискателя в условиях максимальной реалистичности модели.

Разумеется, должны оцениваться точность и надежность результатов.

7.7. Универсальные математические пакеты

Без математических расчетов или их результатов не обходится ни одно серьезное исследование. Применение на практике современных математических методов требует определенных способностей, хорошей теоретической подготовки и больших трудозатрат. В последние десятилетия наметился существенный прогресс в разработке интегрированных математических пакетов, резко уменьшивший затраты времени на их освоение и программирование. Общение с ЭВМ на почти естественном для любого человека (и вполне естественном для инженера) языке позволяет больше внимания уделять постановке проблемы, моделированию реальных ситуаций, анализу ответа. Сразу же отметим, что все математические пакеты работают в *интерпретирующем* режиме и уже поэтому должны рассматриваться как средство скорее поисковых исследований, чем массового счета. Для облегчения перехода к последнему ряд систем позволяет автоматически переводить полученные *выражения* на общепринятые языки программирования (*Basic, Pascal, C, Fortran*).

Для записи команд и отдельных выражений в математических пакетах используется входной функциональный язык сверхвысокого уровня, различающийся от пакета к пакету в несущественных деталях и легко доступный пользователям с опытом процедурного программирования. Применяется он либо непосредственно (в пакетах *MatLab, Maxima, Derive*), либо в комбинации с «кнопочно-шаблонным» интерфейсом (*Maple, Mathematica, MathCAD, Scientific WorkPlace*).

От входного языка нужно отличать языки *программирования*, используемые для создания внешних процедур многократного применения. Средства, возможности и технология их использования в разных пакетах существенно различны. Пользователь может сам написать

специализированные функции и подпрограммы, оформляемые в виде файлов со специфическим расширением. По мере увеличения количества созданных подпрограмм родственные функции собираются в специальные папки (`toolboxes, add-ons`) — проблемно-ориентированные инструментальные наборы, написанные на входном языке системы. Такой подход облегчает работу с базовыми средствами, уменьшает объем и стоимость инсталлируемой пользователем конкретной конфигурации системы (многие тулбоксы приобретаются за отдельную плату). Наиболее богаты тулбоксами *MatLab* и *Maple*.

Высочайшим достижением истинно компьютерной математики и компьютерного интеллекта стали системы *компьютерной алгебры*, выполняющие наряду с числовыми расчетами аналитические (символьные) преобразования. Подчеркнем, что эти системы не хранят готовые ответы, а *генерируют их по запросу пользователя*. Подобные системы оказались полезными даже для опытных математиков — хотя бы с точки зрения повышения производительности труда.

Спрос на компьютерную алгебру велик и в повседневной работе инженера и математика: проверка вычислений, замена справочников, нахождение аппроксимаций, работа с полиномами, матричные операции, подстановки, визуализация результатов счета. Здесь она экономит время, нервы и бумагу. Как типичные задачи, требующие тривиальных, но громоздких выкладок, назовем вычисление градиентов, матрицы Якоби производных векторной функции и матрицы вторых производных (гессиана) функции многих переменных при решении задач оптимизации. Разумеется, применение пакетов символьной математики не исключает, а предполагает понимание математической сути вычислений.

7.7.1. Типовые возможности пакета

Вот перечень типовых задач, решаемых математическим пакетом:

1. Арифметические и логические операции, вычисление алгебраических, тригонометрических и им обратных, гиперболических и им обратных, ряда специальных (высших трансцендентных) функций, статистические и финансово-экономические операции.

2. Действия над числами произвольной разрядности и в различных системах счисления (обычно с основанием от 2 до 36).

3. Операции с действительными и комплексными числами, представление их с регулируемой разрядностью.

4. Символьные операции с полиномами, дробно-рациональными функциями, функциями одной и многих переменных, включая разложение полиномов на простые множители, вычисление их корней, нахождение числовых значений и т. п.

5. Символьное и численное дифференцирование и интегрирование, вычисление сумм и произведений элементов рядов, вычисление пределов функций, нахождение разложений в ряд Тейлора в окрестности заданной точки.

6. Операции с векторами и матрицами, элементы которых могут быть как числовыми, так и символьными выражениями.

7. Преобразование формул (подстановки, упорядочение многочленов по степеням заданной переменной, разложение на множители и перемножение, выражение тригонометрических функций от кратных углов через базовый, замена синусов на косинусы и обратная ей, упрощение и т. д.).

8. Решение задач теории поля и векторного анализа, включая вычисление градиента, дивергенции и потенциала.

9. Построение графиков, в том числе трехмерных.

В меню в типичном случае входят команды следующих видов:

`Calculus` — вычисление производных, интегралов, пределов функций, сумм, произведений и разложение в ряд Тейлора;

`Declare` (`Define`) — объявление переменных, матриц и функций;

`Expand` — раскрытие выражения, перемножение его членов, упорядочение по степеням независимой переменной;

`Factor` — разложение на простые множители чисел и выражений;

`Solve` — решение уравнений (с приставками — уравнений различного вида: целочисленных, рекуррентных, дифференциальных и др.);

`Simplify` — упрощения, подстановки, вычисления в рациональной форме;

`Approx` — вычисление выражений с плавающей точкой.

При работе с не означенными объектами пакеты реализуют смешанные (параметрические) вычисления.

Некоторые команды вызывают уточняющие подменю. Кроме того, все математические пакеты имеют общий (с небольшими вариациями) и хорошо известный из опыта работы с текстовыми и графическими редакторами набор средств:

- файловых операций;
- редактирования;
- вставки и удаления объектов и фрагментов;
- форматирования текста и графиков;
- настройки системы (например, управления разрядностью вычислений, критерием завершения итераций и т. п.);
- управления окнами;
- обеспечения справочной информацией (`Help`).

Последняя предоставляется в двух формах. Систематический каталог позволяет листать его вперед и назад, выходить на предыдущий и последующий иерархические уровни, работать с гипертекстовыми ссылками. Алфавитный каталог работает в режиме поиска, уточняемого вводом последовательных букв заданного термина, и может выдавать как итоговую информацию, так и ссылки на фрагменты систематического каталога. `Help` может включать в себя обучающую подсистему и электронные версии учебников.

Выбор команд и подкоманд осуществляется перемещением курсора, указателя мыши или набором прописанных в меню комбинаций клавиш. Выделенные фрагменты текста удаляются, вырезаются в буфер `Clipboard`, копируются и вставляются комбинациями [Del], [Ctrl]+[X], [Ctrl]+[C], [Ctrl]+[V] соответственно. Через буфер можно обмениваться фрагментами с другими *Windows*-приложениями.

Выполненные расчеты необходимо представить с максимальной наглядностью, через которую быстрее приходит понимание ситуации. В состав математических пакетов обычно включаются средства построения графиков. Они незаменимы для локализации корней уравнений,

выбора начальных приближений при решении уравнений и систем уравнений, определения числа решений, оценки крутизны целевой функции, выявления ситуаций типа «овражных» в задачах минимизации и т. п.

Математические пакеты позволяют строить графики, в том числе трехмерные, в различных системах координат (декартовой, полярной, цилиндрической и сферической), шкалах (линейной и логарифмической), задавать частоту сетки, оцифровку осей, разметку кривых, различные надписи и т. п. Для трехмерных графиков предусмотрены режимы построения «проволочных» поверхностей и скрытия невидимых линий, линий уровня, а также смены «точки зрения», направления и цвета «подсветки». Приятно отметить, что все обсуждаемые ниже математические пакеты оказались в состоянии правильно построить график функции $\sin(x)/x$, имеющей хорошо известную неопределенность в нуле. Это говорит об «интеллектуальном» подходе систем к поставленной задаче.

При наличии большого числа параметров или при необходимости иллюстрации тонких эффектов (разница в младших знаках результатов) вместо графиков предпочтительно использование таблиц.

7.7.2. Управление работой пакета

Достигнутый уровень развития компьютерной алгебры не исключает отказа пакета от выполнения символьных вычислений (система возвращает исходное выражение). Многие преобразования имеют ограниченную область применения. Если $(\sqrt{z})^2 \to z$ как для комплексного, так и для вещественного аргумента, то $(\sqrt{x})^2 \to |x|$ верно только для вещественного x. Преобразование $\ln(x^2)/2 \to \ln(x)$ допустимо лишь для положительных x. Поскольку при упрощении выражений допустимы только корректные преобразования, компьютеру может потребоваться подсказка: указать направление дальнейших преобразований, сузить класс значений параметра (комплексный $\to$ вещественный $\to$ положительный $\to$ целый $\to$ четный). Поэтому во многих системах имеются средства указания областей определения (`domains`) переменных: через меню, командами вида `assume(k,integer)` или `assume(x>0)` либо аналогичными опциями вызываемых функций. Определения можно дополнять, изменять и отменять.

Выбор ведущей к окончательному решению последовательности операций определяется спецификой задачи и получаемыми «субпродуктами». Он требует определенной математической подготовки и опыта работы с конкретной системой. Эксперименты предпочтительно прово-

дить над дубликатами задачи и/или ее промежуточных стадий.

Результаты некоторых преобразований выглядят неожиданными: например,

$$2 \cdot \arctan(\tan x/2) = x - 2\pi \text{ floor}\left(\frac{x}{2\pi} + \frac{1}{2}\right)$$

вместо ожидаемого x. Такие сюрпризы могут быть связаны с неоднозначностью функций, их взаимозаменяемостью и, главным образом, — с вынужденной стандартизацией методов решения. Последним объясняется и неспособность математических пакетов справиться с отдельными задачами, решения которых вошли в широко известные справочники.

Точное решение может иметь очень громоздкий вид (с простыми дробями и радикалами). Для их перевода в действительные числа достаточно хотя бы один коэффициент задать в действительной форме или воспользоваться функцией типа `NRoots`. Пользователь должен уметь критически оценивать результаты и искать способы их проверки. Такие возможности может дать только знание математики.

При решении нелинейных уравнений и систем обычно требуется указание начальных приближений или области нахождения корней.

7.7.3. Предварительное сопоставление

Значительное сходство в «способностях» и технологии применения пакетов сочетается с множеством заметных различий во входном языке. Это обстоятельство практически исключает уверенную работу с несколькими пакетами одновременно. К тому же некоторые пакеты «конфликтуют» с другими. Мы советуем читателю бегло ознакомиться с обсуждаемыми ниже пакетами по [206] и либо самостоятельно выбрать имеющий «необходимые и достаточные» возможности, либо согласиться с автором и работать в *Scientific WorkPlace* (далее — *SWP*). Разумеется, для использования всех возможностей «избранника» придется обратиться к более полным руководствам и электронной документации.

Самыми богатыми возможностями обладают профессиональные пакеты *Maple* и *Mathematica*. Они же предъявляют самые высокие требования к аппаратуре и наиболее сложны в освоении. Подмножества символьной математики из *Maple* входят в новейшие версии *MathCAD, MatLab, SWP*. Собственные версии символьной математики реализованы в пакетах *Mathematica* и *Derive*. Справедливости ради нужно отметить, что почти в каждом пакете можно найти «изюминку», отсутствующую в других пакетах.

Важную роль играет удобство математического инструментария. Предельная общность постановок задач в пакетах *Mathematica* и *Maple* предполагает получение решений в комплексной области. Эти решения во многих частных случаях с трудом интерпретируются непрофессионалами. Другим «источником непонимания» пользователями математических суперпакетов является неожиданность результатов применения взаимно обратных функций. Из трех систем (*SWP*, *Maple* и *MathCAD*) только первая сообщила, что $\ln(e^x) = x$ и $\sqrt{x^2} = x$, без всяких дополнительных ухищрений. В общем, эффективно и осмысленно работать с такими пакетами могут только квалифицированные математики.

Derive является лучшей массовой системой для начального знакомства с символьными математическими пакетами. Однако она не содержит встроенных средств минимизации функций одной и многих переменных. При использовании метода итераций требуется явно указать число итераций (нельзя задать требования по точности).

В профессиональной версии *MathCAD*'а документы (программы, комментарии, результаты вычислений) имеют естественный для научно-технической литературы вид, а при задании математических выражений в этой системе используется удобный кнопочный интерфейс. Однако эта система явно проигрывает по отношению своих скромных возможностей к потребным ресурсам (свыше 100 Мбайт дисковой памяти).

В *MatLab*'е и *Maple* вместо математических знаков вводят слова, обозначающие функции и операторы (например, `sqrt` вместо знака квадратного корня). Аналогичный подход применяется и в *Derive*, но на внутреннем уровне пакета: требуемый оператор определяется типом используемой панели, автоматически кодируется в командной строке и отображается в рабочем листе посредством стандартной математической символики (правда, далеко не с типографским качеством набора). То же относится к сформированному результату.

7.7.4. Интеллектуальные решатели

В целом обсуждаемые системы ориентированы на *процедурное* программирование — описание (на макроуровне) последовательности действий, необходимых для получения решения. В качестве примера другого подхода назовем интеллектуальный решатель задач *TK! Solver* [163, 206]. В нем каждая сравнительно узкая предметная область предварительно описывается системой математических соотношений. Система по заданным исходным объектам и перечню требуемых самостоятельно формиру-

ет решение с помощью встроенных математических средств. Подобные системы в свое время разрабатывались и в СССР (ПРИЗ — в Эстонском институте кибернетики). Составление достаточно содержательной модели новой предметной области вполне может рассматриваться как практический результат кандидатской диссертации.

7.7.5. Сравнительное тестирование пакетов

Этот раздел в контексте данной книги особенно важен, поскольку одновременно служит примером *многокритериального* сопоставления вариантов решения проблемы — задача, актуальная для любой диссертации.

Постановка задачи. Перед исследователем, пожелавшим работать с пакетами математических программ, прежде всего встает вопрос о выборе *одного* из них. Сделать этот выбор непросто, поскольку:

- для сравнения пакетов необходимо поработать с каждым из них, что потребует немалых трудозатрат на освоение;
- сравнительный анализ пакетов предполагает параллельную работу с ними, усугубляющую трудности освоения;
- одновременная инсталляция пакетов предъявляет очень высокие требования к аппаратным ресурсам;
- книги с описанием пакетов существенно различаются по методике изложения; кроме того, автор каждой из них выступает апологетом описываемой программной системы и делает акцент на ее сильных сторонах, невольно или сознательно замалчивая слабые;
- отдельные сравнения проводятся по частным поводам и без описания методики сопоставления;
- выбор пакета должен производиться на многокритериальной основе и с учетом цели и условий его использования.

Последнее обстоятельство делает субъективными любые обзоры и оценки, в том числе и приведенные ниже, и требует *четкой фиксации исходных позиций*.

Автор сравнивал пакеты (исключая ставшую доступной лишь недавно *Maxima*) по кругу аналитических методов из стандартного втузовского курса. Выбор тестовых задач производился из известных справочников

[184] и задачников, был в значительной степени случаен и ориентировался на максимальный разброс результатов тестирования разных пакетов. Набор задач приводится в [206].

Возможности *численных* методов не сопоставлялись по той причине, что здесь произошла сильная конвергенция пакетов, и даже минимальный набор упомянутых средств достаточен для большинства практических целей. Такой же вывод следует сделать из сопоставления инструментов для построения графиков, хотя здесь разница достаточно велика.

Выбор показателей. Показатели качества математических пакетов естественно разделяются на две группы: функциональные и интерфейсные. Ясно, что первая группа особенно интересна для более опытных пользователей, а вторая — для начинающих. При перечислении показателей мы будем по возможности указывать (в скобках) способ их оценки по результатам тестирования.

К *функциональным показателям* мы отнесем:

1. Универсальность (обсуждается ниже).
2. Успешность (доля правильно решенных задач).
3. Завершенность (доля решенных задач, где для получения окончательного результата в ожидаемой форме не потребовались дополнительные выкладки; к числу таких задач добавлялось количество языков программирования, в которые возможна трансляция полученных выражений).
4. Робастность (доля задач, решенных средствами широкого применения: `solve` без начальных условий для нелинейных уравнений и систем, `dsolve` без выбора специализированных процедур — для дифференциальных уравнений).
5. «Щедрость» на решения (количество полученных решений систем уравнений с множественными решениями относительно максимума по всем сравниваемым пакетам).
6. Развиваемость (относительная сумма баллов, начисляемых за доступность *текстов* встроенных процедур, возможность написания собственных внешних процедур, удобство работы с таковыми и наличие дополнительных инструментов саморазвития).
7. Экономичность (отношение минимального по всем пакетам объема необходимой дисковой памяти к потребностям данного пакета).

Форма оценки последнего показателя выбрана для облегчения сопоставимости с остальными (чтобы по всем показателям было «чем больше, тем лучше»).

Универсальность пакетов можно было бы оценить через потенциальные возможности и эффективность их воплощения. К сожалению, эта идея практически не реализуема, поскольку:

- количество функций в мощных пакетах исчисляется тысячами (в четвертой версии *Maple V* их было около 2800);
- сопоставление предполагает овладение средствами всех сравниваемых пакетов в равной степени, что вряд ли возможно на достаточно высоком уровне;
- для каждой функции могут найтись «удобные» и «неудобные» объекты применения, причем частота встречи с представителями этих классов будет зависеть от специализации конкретного пользователя;
- сама потребность в них будет определяться этой специализацией.

Поэтому данный показатель оценивался субъективно (см. ниже).

В начале 2000 г. автор провел функциональное тестирование доступных на тот момент версий перечисленных пакетов. Оказалось, что все пакеты по крайней мере удовлетворительно справляются с предложенным набором тестов и, следовательно, могут быть полезными помощниками исследователя. Однако «круглых отличников» не нашлось. *MatLab* не имел средств расчета произведений, *MathCAD* — символьного решения дифференциальных уравнений. Все пакеты, кроме *MatLab* и *Derive*, были уличены в ошибках. В частности, такой уважаемый пакет, как *Maple* (и только он), явно не справился с эллиптическими функциями. Только три пакета (*SWP*, *Maple* и *Derive*) вычислили предел, приводящий к формуле Стирлинга. Сравнительно высок процент отказов от решения задачи, в особенности при расчете символьных произведений.

Опыт показал, что *успешность* пакетов сильно коррелирована с возможностями указания областей определения параметров и результата (опция `assume` и ее аналоги). Лишь немногие пакеты (*MathCAD*, *Derive*) корректно информируют об отказе («`No closed form for this integral`», «`Inapplicable`»). При работе с пакетом *Mathematica* в двух случаях произошло зависание.

Может вызвать удивление тот факт, что пакеты *SWP, MathCAD, MatLab*, заимствовавшие у *Maple* символьную математику, в ряде случаев справляются с заданиями лучше «родителя». Это объясняется сужением области определения переменных (в *Maple* все они по умолчанию считаются комплексными).

Завершенность результатов в «вещественных» пакетах обычно оказывается выше (номинальные результаты предполагают вещественные значения). Ряд случаев незавершенности относится к получению решений через гипергеометрические функции. Еще один пример — нежелание многих пакетов распознавать гамма-функцию по ее определению. Вообще следует иметь в виду, что *проблема распознавания математического тождества выражений в общем случае алгоритмически неразрешима*, и быть готовым к самостоятельным усилиям. Эта задача особенно сложна при расчете неопределенных интегралов и получении общих решений дифференциальных уравнений в связи с возможным различием произвольных постоянных. Здесь для демонстрации эквивалентности решений нужно показать, что разность последних не зависит от переменной интегрирования.

Что же касается *универсальности*, то здесь было бы необходимо учитывать не только количество входящих в пакет процедур, но и спектр их возможностей, общую направленность, фундаментальность, нетривиальность. Провести такое сравнение обстоятельно выше сил человеческих; пришлось ограничиться сопоставлением каталогов, и лишь отчасти — анализом «функциональных обязанностей». Как нам представляется,

- по длине перечня возможностей (с учетом дополнительных пакетов) *Maple V*, *Mathematica 4* и *MatLab 5* приблизительно сопоставимы;

- два первых содержат общематематические средства, а *MatLab* специализируется в более узких прикладных направлениях (теории автоматического управления и обработке сигналов);

- *Maple V* несколько уступает пакету *Mathematica 4* по фундаментальности, набору технологических средств (работа со списками) и логической стройности;

- *SWP* реализует только часть функций из *Maple*, причем не самых последних версий; доступ к расширениям очень неудобен, а `Help` для подсистемы *Maple* в нем отсутствует начисто;

- пакет *Derive* превосходит *MathCAD* по количеству и разнообразию решаемых задач, однако оба они явно ориентированы на начинающего математика и заметно уступают четырем вышеупомянутым.

При оценке *удобства интерфейса* каждый фактор оценивался в баллах, а показатель в целом — их суммой. Показателями были выбраны:

1. «Кнопочность» ввода (наличие панелей с математическими символами, их содержательность, возможность и удобство коррекции оперативных панелей, число фаз доступа к требуемым символам, возможность ввода элементов матриц в настраиваемые по числу строк и столбцов клеточные шаблоны).

2. Естественность входного языка, которая определялась по наиболее характерным признакам: кодирование операции умножения (включая возможность пробела), знака неравенства, числа сочетаний, арксинуса, возможность ввода кириллического текста и вариабельность представления оператора дифференцирования.

3. Качество графического представления входного выражения как средства контроля правильности ввода и формирования рабочего листа (отдельных символов, «больших» операторов, кратных операторов интегрирования, позиционирования индексов и степеней).

4. Графика вывода (те же показатели плюс возможность и удобство перевода протокола сеанса или отдельных его частей в формат издательской системы LaTeX, де-факто ставшей международным стандартом подготовки математических рукописей).

5. Диагностика ошибок (надежность контроля, внятность и конкретность диагноза, наличие и конструктивность подсказок).

6. Качество справочной подсистемы (наличие алфавитной и систематической частей, четкость структуризации и полнота последней, удобство поиска; количество и наглядность примеров, наличие комментариев к ним).

С точки зрения *удобства использования* пакеты оценивались по пятибалльной шкале. Нулевая оценка исключалась, так как могла привести к потере наглядности итоговых диаграмм.

В разделе «Кнопочность» учитывались полное отсутствие «кнопочного» набора выражений в *MatLab*'е, сложность соответствующей

технологии в *Maple*, максимальная развитость этих средств в *SWP* и *Mathematica* и уникальность *SWP* в смысле возможной коррекции оперативной панели символов, заметно ускоряющей набор.

В разделе «Естественность» высший балл за умножение поставлен пакетам, где знак умножения в определенном контексте (после числового множителя, между скобками) может пропускаться. За «неравенство» высший балл соответствует кнопочному вводу $\neq$, «4» — паскалевской комбинации `<>` и «1» — за $\approx=$. Для числа сочетаний возможность набора $\binom{n}{k}$ была оценена в 5 баллов, `binomial(n,k)` и $\frac{n!}{k!\,(n-k)!}$ — на 4, `comb(n,k)` на тройку и `nchoosek(n,k)` — на двойку. При вводе арксинуса наивысший балл получил *SWP* за бесскобочную запись `arcsin x`, а тройку — *Mathematica* за обязательное `ArcSin[x]`. Существенным недостатком *SWP* является неудобство реализации оператора присваивания.

Графическое представление ввода-вывода полностью отсутствует у *MatLab*. Чемпионом здесь оказался *SWP* — в частности, потому, что он непосредственно формирует рабочий лист в формате LaTeX'а (даже без компиляции). Относительно невысоко качество графики в *Maple*. Много баллов на убогой графике (прежде всего разнокалиберности кратных интегралов и выделении индексов в отдельную строку) потеряла *Derive*.

Наиболее содержательная и точная диагностика ошибок проводится в пакетах *Mathematica*, *Maple* и *Derive*. При работе с последней, однако, имел место случай пропуска на решение неправильного вызова функции `NEWTONS` для решения системы нелинейных уравнений (без буквы `S`) с последующим зависанием. Соответственно, пакет пришлось «оштрафовать». Остальные пакеты в большинстве случаев отделываются невразумительным `Syntax Error`, а *SWP* — практически не поддающимися интерпретации сообщениями на экзотической версии LaTeX'а (`tcilatex`).

При оценке `Help`'а были учтены графическое великолепие и удобство справочных систем *Maple* и *Mathematica*. Особенно хочется отметить фиксацию в этих системах отрезков промежуточных каталогов, что заметно облегчает работу. С другой стороны, пришлось учесть отсутствие справки по разделу *Maple* в *SWP*, «внешнее» (в форматах `PDF` и `HTML`) оформление справочных материалов в *MatLab*.

Подробное сопоставление сравниваемых пакетов проводится в [206]. В табл. 7.2 представлены итоговые оценки.

Таблица 7.2. Комплексная оценка пакетов

Характеристика	*Maple*	*SWP*	*MathCAD*	*MatLab*	*Mathematica*	*Derive*
Функциональность						
Успешность	0.82	0.77	0.52	0.75	0.86	0.77
Робастность	0.79	0.75	0.52	0.72	0.80	0.64
Завершенность	0.91	0.79	0.76	0.72	0.98	0.88
Щедрость	0.53	0.33	0.40	0.53	1.00	0.60
Развиваемость	1.00	0.53	0.23	0.88	0.94	0.53
Экономичность	0.09	0.20	0.08	0.04	0.09	1.00
Универсальность	0.80	0.50	0.30	0.75	1.00	0.40
Интерфейс						
Кнопочность	0.60	0.96	0.72	0.20	0.80	0.64
Естественность	0.73	0.86	0.80	0.57	0.90	0.64
Графический ввод	0.75	1.00	0.90	0.20	1.00	0.50
Графический выход	0.80	1.00	0.72	0.32	0.92	0.44
Диагностика	0.90	0.50	0.40	0.50	1.00	0.40
Help	1.00	0.60	0.60	0.60	1.00	0.80

По данным этой таблицы можно построить лучевые диаграммы (они же диаграммы Кивиата), весьма удобные для сопоставления нескольких объектов по совокупности показателей[2]. Для каждого показателя отводится отдельный луч. Оценки, полученные одним объектом, соединяются линией определенного цвета (в черно-белом варианте — структуры: сплошные разной толщины, штриховые, пунктирные и т. д.). В [267] подобные диаграммы применялись при многокритериальной разработке табеля снабжения военно-воздушных сил.

Несколько рекомендаций по построению лучевых диаграмм:

1. Все показатели должны иметь одинаковую направленность («чем больше, тем лучше» или наоборот).
2. Шкалы следует выбирать так, чтобы все оценки были положительны (нулевые оценки дают уродливую деформацию фигуры).
3. Оценки по каждому показателю предпочтительно нормировать соответствующими максимумами.

Разумеется, и здесь возможны варианты — например, чередовать показатели противоположной направленности (получится звезда) или после нормировки оценок дополнительно умножить их на веса показателей.

[2]Напомним, что сопоставление возможных решений в любой области техники (и не только техники) желательно проводить по нескольким показателям.

На рис. 7.7 и 7.8 приведены соответствующие диаграммы Кивиата. «Функциональная» диаграмма достаточно четко показывает «вложенность» возможностей пакетов — от *Mathematica 4* до самого «внутреннего» *MathCAD*'а — по всем показателям, кроме экономичности, где безусловным лидером является *Derive*.

В смысле интерфейса по большинству показателей предпочтительны *Mathematica 4* и *Scientific WorkPlace*; наихудшими оказались *Maple* и *MatLab*.

При окончательном выборе пакета, разумеется, прежде всего надо сопоставить свои потребности с его возможностями.

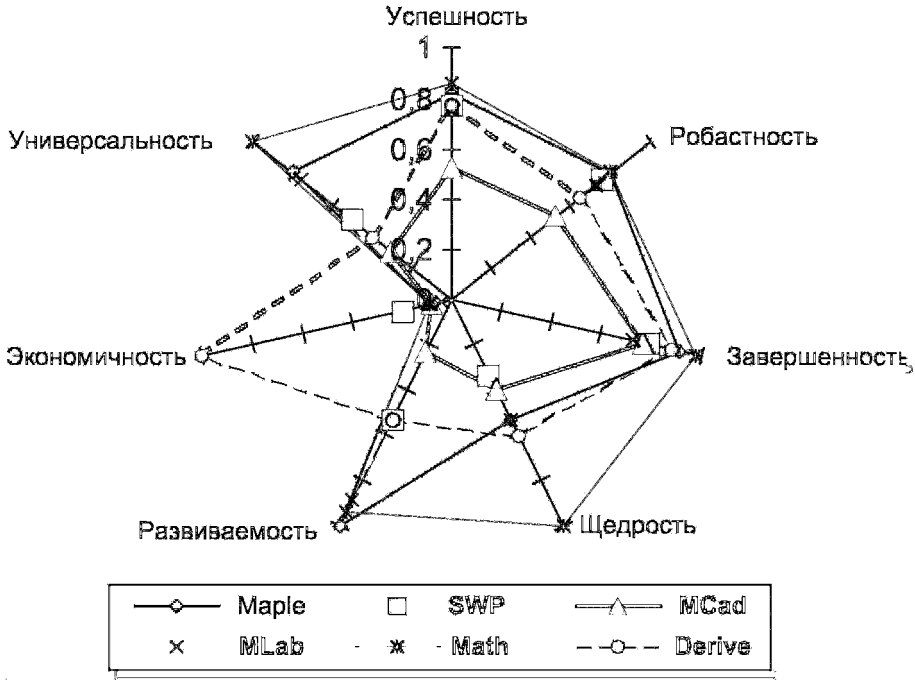

Рис. 7.7. Функциональные возможности пакетов

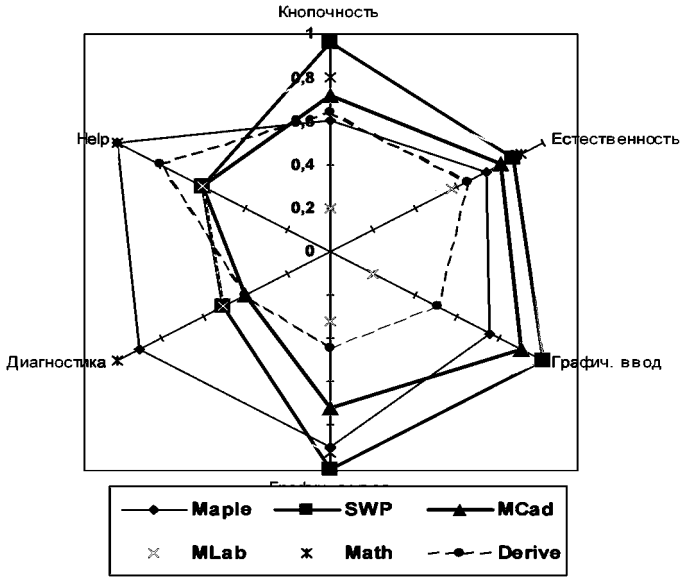

Рис. 7.8. Интерфейс пакетов

Сопоставление *новейших* версий пакетов в общем подтвердило первоначальные выводы о сравнительных достоинствах пакетов и показало, что наиболее серьезные недостатки исправлены:

- большее число пакетов вычислило предел, приводящий к формуле Стирлинга приближенной оценки факториала;
- *Maple* стал справляться с эллиптическими интегралами и обзавелся «кнопочным» вводом выражений;
- в *Scientific WorkPlace* с третьей версии появился `Help` по организации вычислений, и т. д.

В общем же каждый разработчик преимущественно развивает сильные стороны своего пакета. Для иллюстрации рассмотрим новые возможности пакета для профессиональных математиков *Maple* 6. Основные улучшения явились результатом сотрудничества с известной *Numeric Analysis Group*. Новый тулбокс `LinearAlgebra` позволяет работать с матрицами специальной структуры (ленточные, треугольные, симметрические и кососимметрические, эрмитовы и косоэрмитовы, представленные списками разреженные и т. п.).

Значительно возросли возможности символьного решения дифференциальных уравнений (пакет справляется с 95% задач на уравнения первого порядка из известного справочника Камке), систем таких уравнений, приближенного решения дифференциальных уравнений с помощью рядов, уравнений в частных производных. Стал доступным полезный в образовательных целях вывод пошаговых преобразований.

Расширены возможности аналитического преобразования ряда специальных функций — гипергеометрической, Якоби, Вейерштрасса и др. Полностью переработана функция минимизации, которая теперь пытается сделать максимум возможного в символической форме и возвращает не только значение минимума, но и его координаты. Появилось средство построения дробно-рациональной интерполяции. Улучшился также графический интерфейс. Появились средства просмотра больших матриц по частям, визуализация распределения их значений, возможность поворота графиков и их экспорта в различных форматах, в том числе особенно популярных WMF и BMP.

Отметим, что беспрерывная коммерческая гонка разработчиков, ежегодно выпускающих новые версии пакетов, как правило, несущественно расширяет их возможности, но обязательно порождает новые ошибки. Поэтому лучше пользоваться «предпоследней» версией продукта — относительно устоявшейся и обеспеченной литературой.

По итогам описанного выше тестирования и качественного учета доработок в новых версиях обсуждавшихся пакетов *Scientific WorkPlace* представляется наиболее удобным для начинающего научного работника средством автоматизации математических расчетов. Сравнительно подробное описание его читатель может найти в главе 31 [163].

7.7.6. Maxima

Система компьютерной алгебры *Maxima* является развитием *Macsyma*, разработанной в Массачусетском технологическом институте по контрактам с NASA, Office of Naval Research, US Air Force, US Department of Energy в 1968–1982 гг. как часть проекта MAC. Она обсуждается отдельно потому, что ныне распространяется *свободно* и совместима с операционной системой *Linux*. По стилю общения с пользователем и своим возможностям она близка к ранним версиям *Maple*, а по скверной графике протокола общения (показатели степени и индексы выделяются в отдельные строки) — к *Derive* (см. [206, с. 215]).

Система умеет развертывать и разлагать на множители полиномиальные, тригонометрические и логарифмические выражения; строить аппроксимации Паде и непрерывные дроби; решать системы уравнений (линейных, полиномиальных и дифференциальных), в том числе краевые задачи; вычислять пределы, дифференцировать и интегрировать; работать с матрицами и тензорами; строить двумерные и трехмерные графики с помощью включенной в нее системы *Gnuplot*. Команда `tex` преобразует полученное выражение в нотацию TEX'a.

7.7.7. Дополнительные примеры многокомпонентного оценивания

Лучевые диаграммы являются чрезвычайно наглядной формой сравнения рассматриваемых альтернатив по нескольким показателям и могут быть рекомендованы для самого широкого использования. С их помощью можно сопоставлять разработанные устройства (приборы, изделия, системы) по быстродействию, точности, мощности, надежности, энергопотреблению, безопасности, экологичности, стоимости и т. п. Диссертант может таким образом сравнить свой вариант теоретического или схемного решения проблемы с прототипами и альтернативами.

Сравнение университетов. В «СПб. Ведомостях» от 30.08.2002 Гуманитарный университет профсоюзов именно этим способом сопоставлялся со среднероссийским по 8 показателям (число аспирантов на 100 преподавателей, процент докторов наук и профессоров, процент преподавателей с учеными степенями и званиями, количество подготовленных в расчете на 100 преподавателей учебников и монографий и т. д.).

Сравнение ноутбуков. Многокомпонентное сравнение образцов техники проводилось в статье «Тестируем ноутбуки» («Byte/Россия», ноябрь 1999, с. 44–57). Рассматривались следующие группы показателей переносных компьютеров: стоимость, комплектность («система в целом»), функциональность, мобильность, удобство, производительность, поддержка, поощрения и штрафы (относительно подробная их детализация воспроизедена в [210]). Сравнивались 18 образцов от различных производителей. Комплексные оценки по каждой из групп параметров для получения итогового рейтинга в каждой из четырех номинаций («Интегральный критерий») взвешивались с некоторыми коэффициентами. Следует похвалить неназванных авторов цитируемого обзора за ценную мысль проведения сопоставлений по нескольким номинациям с предварительной группировкой претендентов на них.

7.7.8. Технология создания лучевых диаграмм

Средство для построения лучевых диаграмм (*Microsoft Graph*) имеется в составе текстового процессора *Word*. К сожалению, авторы учебных пособий по нему недооценивают полезность лучевых диаграмм, да и вообще вопрос настройки диаграмм практически обходится. Поэтому описанную ниже технологию пришлось буквально выстрадать.

Создание таблицы. Выбираем в меню пункт `Таблица/Добавить таблицу`. Открывается окно `Вставка таблицы`. Устанавливаем число строк и столбцов. Нажимаем [OK]. Отображается схема таблицы.

Снова выбираем пункты `Таблица/Автоформат`. Расставляем необходимые флажки. Щелчком мыши выбираем вариант оформления (удобен `Стандарт 1`). Нажимаем [OK].

Заполняем таблицу, не обращая внимание на короткие строки. Числа набираются на латинском регистре, целая часть отделяется от дробной запятой, перемещение от клетки к клетке выполняется нажатием [Tab].

Редактирование таблицы. Входим в меню `Таблица/Автоформат`. Убираем флажки для заливки и цвета, выставляем флажок `Автоподбор`. После нажатия [OK] ширина колонок будет скорректирована так, чтобы названия *категорий* помещались в одну строку.

Для изменения типа линий в таблице надлежит:

1) выделить в таблице зону, непосредственно примыкающую к корректируемой линии;

2) через `Вид/Панель инструментов/Таблицы, границы` выбрать тип линии, раскрыть представленное разделенным на четыре части квадратом ниспадающее меню, выделить нужный вариант и нажать [OK].

Построение диаграммы. Поместить курсор внутрь таблицы. Вызвать команду `Таблица/Выделить таблицу`. Скопировать таблицу в буфер по [Ctrl]+[C]. Установить курсор по месту будущего графика.

Набрать команду `Вставка/Объект/Диаграмма MS Graph 97`. Нажать [OK]. Будет вставлена стандартная системная таблица. Выбрать ее левый верхний угол (белую ячейку), выполнить вставку по [Ctrl]+[V]. Штатная таблица будет заменена на рабочую. Изменится структура панели: в ней появятся пункты `Данные` и `Диаграмма`.

Выбрать меню Диаграмма/Тип диаграммы. В открывшейся панели найти Лепестковую диаграмму. [OK]. В меню Данные выбрать вариант «Ряды образуют столбцы». [OK]. Получим крохотную диаграмму.

Через команду Диаграмма/Параметры диаграммы указать заголовок диаграммы (в окошке под бегущую строку), выбрать место для легенды (в наших примерах — снизу). В разделе Линии сетки убрать флажки из Основных и Промежуточных (сетка обычно мешает восприятию рабочих линий диаграммы). [OK].

Коррекция диаграммы. Для изменения ее размера нужно выделить щелчком область диаграммы и тащить мышью за угол или за нужную сторону. Размер области контролируется по отображаемой на экране линейке с учетом заголовка, легенды и названий категорий. Все надписи масштабируются одновременно с рисунком.

Диаграмма форматируется после ее *выделения*. Элементы диаграммы можно выбрать в ниспадающей панели (левая верхняя часть экрана). Выделив отдельный элемент диаграммы (область построения, легенду и т. п.), можно через соответственно изменившееся меню Формат задать оформление рамки (тип, цвет и толщину линии), необходимость оттенения и заливку. Для обоих названных элементов целесообразно сделать заливку светло-серой: на таком фоне хорошо видны как белые, так и темные линии, что облегчает восприятие диаграммы. Поочередно вызывая ряды данных, можно подобрать (по распечатке) цвета и структуру линий, обеспечивающие различение фигур на черно-белой диаграмме. Это увеличит возможности автора по числу сравниваемых объектов.

7.8. Языки программирования

7.8.1. Необходимость программирования

Какой бы мощной ни была математическая система, она не может решать любые задачи — хотя бы потому, что постоянно возникают новые. Поэтому все серьезные математические системы имеют свой специфический язык программирования сверхвысокого уровня, позволяющий расширять область применения системы за пределы возможностей встроенных средств или комбинировать упомянутые средства для решения задач повышенной сложности, а также создавать собственные функции и команды.

Эти и изложенные в предыдущих главах соображения позволяют считать тезис, что «основная масса студентов серьезно никогда про-

граммировать не будет, и нечего тратить время на их обучение анализу, вычислительной математике, методам оптимизации и программированию» [164], глубоко ошибочным — по крайней мере по отношению к тем из них, кто будет *работать инженером*.

7.8.2. Многоязычие

Множественность языков программирования (ЯП) вызвана двумя факторами:

- программирование — относительно молодая и бурно развивающаяся область, поэтому «смена поколений» ЯП естественна;
- спектр применения ЭВМ чрезвычайно широк и продолжает расширяться: медицинская диагностика и библиографический поиск; научные, инженерные и бухгалтерские расчеты; управление войсками и производственными комплексами; мультипликация; верстка книг и т. п.

Каждой области свойственны свои категории данных, действия по их обработке, методы планирования этих действий и, наконец, свой профессиональный жаргон. Различные языки в той или иной степени ориентируются на области применения — прежде всего появлением специфических средств.

Теоретическое программирование и порождаемое им языкотворчество интенсивно развиваются. Но практика массового программирования остается весьма консервативной. Консерватизм носителей традиционных ЯП, проблемы совместимости и переноса программных изделий, недостоверность будущих выгод от применения новых ЯП, многомиллионные затраты при переводе на них ранее разработанного программного обеспечения создают барьер, преодолеть который за последние годы и найти собственные *языковые ниши* удалось немногим языкам.

7.8.3. Проблемы программирования

«Важно понимать, что программная услуга — это не только услуга, оказываемая пользователю непосредственно при работе компьютера под управлением программы, но и проверка, оценка, продажа, подбор программ, их перенос на другую машину, сопровождение и аттестация программ и т. п.» [97, с. 19]. Основными проблемами программного обеспечения являются его надежность, производительность раз-

работки, дружественность к пользователю, эффективность и переносимость на другие платформы (в иное аппаратно-программное окружение). Все перечисленные свойства находятся во взаимной зависимости и должны закладываться в программный проект уже на самых ранних его этапах. Их относительная важность меняется от проекта к проекту, но *надежность в широком смысле слова (корректность и устойчивость в процессе эксплуатации) всегда имеет первостепенное значение*.

При выборе языка программирования надлежит учитывать включающую его автоматизированную систему производства программ (АСПП) *в целом*. Все современные АСПП для персональных ЭВМ представляют собой интегрированные среды с оконным интерфейсом, приблизительно одинаковыми возможностями работы с файлами (создание нового файла, открытие старого, сохранение, запись под новым именем), редактирования (вырезка, копирование, вставка) и набора текста программы. Набор текста может выполняться с автоматическим выделением цветом, контролем правильности (и парности) ключевых слов, выдерживанием стандартных позиций, дополнительными отступами при вложенных конструкциях и т. п.

7.8.4. Свойства современных языков программирования

Язык программирования (ЯП) — один из наиболее важных факторов, которые влияют на качество создаваемой программной системы. Хорошо организованный язык с четко продуманной системой понятий, достаточно общих, но в то же время ясных и простых, хорошо взаимодействующих между собой, помогает пользователю организовать свои мысли, отделить на каждом этапе работы главное от второстепенного и последовательно продвигаться к намеченной цели. К сожалению, слишком многие программисты «прикипели» к своему «родному» языку программирования и неспособны ни проанализировать конструкции языка, ни оценить преимущества и недостатки современных языков и языковых понятий. Попытаемся дать обзор конструкций современных ЯП с точки зрения перечисленных выше требований к ним. Надеемся, что читателя не смутит различие в названиях однородных конструкций разных ЯП.

Описание языка. Архитектуру языка определяют его *синтаксис* (правила образования программных текстов), *семантика* (правила их толкования) и *прагматика* (сопоставление текстов целям и намерениям программиста).

Для описания *синтаксиса* языка существует ряд хорошо известных формальных систем (к примеру, Бэкуса—Наура).

Семантика обычно описывается словесно и задается указанием:

1) используемых в языке типов простых значений;
2) способов построения составных значений;
3) операций над простыми и составными значениями;
4) способов задания сложных действий, складывающихся из последовательности простых.

Примером определения семантики могут служить правила вычисления изображаемого числа и выполнения оператора цикла.

Прагматика языка программирования — это, по сути дела, методология программирования, т. е. описание принципов, методов и приемов, позволяющих, исходя из постановки задачи, составить программу ее решения [122, с. 147]. Именно прагматика должна быть основным содержанием учебников программирования на конкретных языках. К сожалению, *большинство учебников этому требованию не удовлетворяет*.

Архитектуру языка оценивают по цельности (возможность предсказать одни решения авторов языка по другим), модульности, ортогональности и т. п. — одним словом, по его концептуальной продуманности. Детали проекта в идеале должны быть следствием относительно небольшого числа базисных ключевых решений. Таким образом, в ЯП следует включать не все, что может потребоваться (как в *ПЛ/1* и *Аде*), но только абсолютно необходимое (*Алгол 68*, *Модула 2*).

Типы данных. Тип данных определяет множество значений, которые могут принимать экземпляры принадлежащих к нему данных; представление этих значений; правила доступа к ним и операции над ними. Введение типа данных в язык программирования позволяет получить более короткую программу, которую легче создавать, понимать, проверять и изменять. В частности, тип данных есть средство задать именованный комплекс атрибутов (в *ПЛ/1* их всякий раз приходилось выписывать явно, а умалчиваемые могли быть назначены системой безотносительно и даже вопреки ожиданиям программиста). Типы данных классифицируются на встроенные (базовые) и определяемые через них производные.

Современные языки позволяют создавать новые базовые типы, в частности, перечисляемые: дни недели, цвета, семейное положение. Объ-

явление перечисляемого типа вводит мнемонические имена для компонент модели решаемой задачи (ранее они кодировались целыми числами, что создавало угрозу выхода из диапазона и ослабляло связь с задачей). Это резко повысило надежность, понятность и модифицируемость программ. Над объектами перечисляемых типов определены операции предшествования, определения номера по значению и обратные им.

Контроль соответствия типов — это проверка совместимости типа выражения с типом левой части оператора присваивания. То же относится к присваиванию значения фактического параметра формальному при вызове процедуры. Несоответствие типов — одна из наиболее частых ошибок в программах. Чем строже контроль типов, тем надежнее программа, но тем труднее выполнить компиляцию (вычисления). Классическими встроенными типами являются числовые (целые и вещественные) различной длины и, соответственно, диапазона значений. Для многих приложений (радио- и электротехника, аэро- и гидродинамика, теория автоматического управления, численные методы теории очередей) крайне желательно иметь встроенные типы *комплексных* переменных. Этому требованию удовлетворяют только *ПЛ/1* и *Фортран*.

Структурные конструкции. Важнейшим способом борьбы со сложностью проблемы является ее структуризация. Это относится и к данным, и к программам их обработки.

Структурированными данными являются массивы, множества, записи, таблицы, списки, очереди. Их можно классифицировать на статические и динамические. В первом случае распределение памяти происходит в процессе трансляции, во втором — в процессе счета. Практически любые серьезные вычисления требуют динамических структур данных. Неконтролируемый выход индекса за пределы диапазона вызывает изменение значения некоторой случайной ячейки памяти, что проявляется в неожиданном месте программы и трудно диагностируется. Для статических объектов такие ошибки легко выявляются в процессе трансляции, для динамических — только в ходе вычислений и ценой значительного удлинения программы и времени счета.

Структуризация *программы* достигается свободным форматом ее записи (с выявлением вложенности конструкций) и применением структурированных операторов. К последним относятся «блочный `if`», вариантный оператор `case` или его аналоги, операторы цикла и выхода из него, блочный оператор, процедуры и модули. Здесь мы отметим варианты циклов с предусловием и с постусловием, а также противоположную тенденцию унификации — «глухой» цикл с пересчетом параметра и про-

веркой условия выхода в теле цикла. Для перехода на управление циклом предусматривается оператор типа `cycle`, для выхода из данного цикла по дополнительному условию — `exit`.

Оператор перехода `go to` как затрудняющий восприятие логики программы рекомендуется только для выхода из глубоко вложенного вычисления (альтернативой может служить `exit` в системе *именованных* циклов). Во всех современных языках вход внутрь составной конструкции, минуя ее начало, рассматривается и диагностируется как ошибка. Применяемый в *Фортране* «вычисляемый `go to`» пока остается, но рассматривается как устаревшая конструкция.

Уровень языка. Есть неизбежное противоречие между высшими уровнями абстракции, которые легче понять и безопаснее использовать, и низшими уровнями, более гибкими и зачастую допускающими более эффективную реализацию. Какой-либо язык может подходить для одного проекта и не подходить для другого.

В современной практике программирование на машинных языках ведется все реже. Такая практика считается оправданной только при написании ядра операционной системы, аппаратурных драйверов или компилятора для нового типа машин. Программирование на языках высокого уровня (ЯВУ) дает следующие преимущества:

- облегчает понимание программы, ее применение и сопровождение;
- приводит к хорошо обозримым программам, в которых легче обнаружить алгоритмические ошибки;
- повышает производительность программирования вследствие большей семантической емкости конструкций языка;
- избавляет программиста от возни с особенностями машины и устраняет многочисленные ошибки в кодах команд, назначении регистров, выравнивании операндов на границу и т. п.;
- делает программу мобильной, т. е. применимой на других типах машин и в другой операционной среде.

Характерным примером (быть может, даже показателем) информационной емкости для вычислительных приложений является наличие операций над матрицами в целом. В *ПЛ/1* из них допускаются только покомпонентные.

Подпрограммы. Частные подалгоритмы, как правило, оформляются в виде подпрограмм, применение которых повышает уровень

абстракции при описании алгоритма. Подпрограммы при возможности их независимой трансляции (и в особенности при включении в библиотеки) могут применяться во многих программах и тем повышают производительность программирования.

При вызове подпрограммы ей передается совокупность *параметров*. Параметры используются, чтобы задать различные варианты выполнения подпрограммы, передать ей данные и получить результаты вычисления. Два основных варианта подстановки параметров — именем и значением. В последнем случае работа идет с недоступной извне копией входного объекта. Ясно, что выходной параметр не должен подставляться значением. Механизмы передачи параметров в разных системах программирования (и для разных видов параметров) сильно различаются, и от понимания их программистами существенно зависят надежность и эффективность программ.

Существуют разные варианты контроля совпадения типов формальных и фактических параметров процедур. Простейший из них — совпадение *имен* типов — легко реализуется статически (в процессе компиляции).

Весьма ценной, но редкой является работа с *ключевыми* параметрами, когда для каждого фактического параметра указывается имя соответствующего формального. Это исключает ошибки от перестановки параметров и позволяет задавать их значения «по умолчанию».

Во *внутренних* (вложенных) процедурах доступны глобальные объекты охватывающих. Это может уменьшить объем информации, передаваемой через параметры, и тем повысить надежность программирования. Возможный *побочный эффект* изменения глобальных объектов оказывает противоположное действие.

Модульность. Важнейшим средством облегчения программирования и повышения надежности больших программных комплексов является *модульность*. Модуль задает контекст предметной области и может быть использован для определения пакета подпрограмм, связанных общей областью применения и, возможно, общими методами реализации. Модуль можно применить, например, для создания виртуального компьютера в кросс-системе программирования.

Модуль состоит из набора объявлений и последовательности операторов, заключенных в скобки `module` — `end`. Заголовок модуля содержит его имя и, возможно, несколько списков импорта и экспорта. Списки *импорта* специфицируют имена всех объектов, которые определены вне модуля и используются в нем. В список *экспорта* включены объекты,

объявленные внутри модуля и используемые вне его. Импортируемыми и экспортируемыми объектами могут быть типы, переменные, процедуры и т. п. Если имя появляется в описании импорта/экспорта, то обозначаемый им объект можно использовать внутри/вне модуля так, как если бы модульных скобок не существовало. Если же за символом `export` следует `qualified`, то при использовании перечисляемых имен вне модуля перед ними необходимо помещать имя модуля (через точку). Такой экспорт называется *квалифицируемым*. Он применяется при разработке модулей совместно с другими, неизвестными заранее. Квалифицируемый экспорт позволяет избежать накладок из-за экспорта разными модулями одинаковых идентификаторов.

Тело модуля определяет типы данных и реализацию алгоритма.

Разделение спецификации и тела в совокупности с раздельной компиляцией позволяет проектировать, писать и проверять программу как набор слабо зависимых компонент. Модуль должен включать проверку входной информации на допустимость, обработку особых и сбойных ситуаций.

Конструкция `with` говорит о том, что данную процедуру следует читать, понимать и исполнять во вполне определенном контексте — с учетом модуля, где определены дополнительные ресурсы и правила работы с ними. К ресурсам такого модуля обращаются по составным именам.

7.8.5. Объектно-ориентированное программирование

В ОО-технологии пользователь имеет дело с тремя базовыми элементами: объектами, сообщениями и классами. *Объекты* служат моделями фрагментов реального мира и представляют собой многократно используемые программные модули. Структурно объекты состоят из двух частей: переменных и методов. *Методы* суть наборы процедур, определяющих алгоритм функционирования объекта. Объектные *переменные* могут содержать числа, массивы, текст, графику, звуковые образы, а также включать в себя другие объекты.

Для связи между объектами используются *сообщения*, состоящие из трех частей: имени объекта-адресата; имени метода, который должен выполняться в объекте; фактических параметров для настройки метода.

ООП обеспечивает:

- *инкапсуляцию* (сокрытие от вызывающего модуля способа реализации затребованной функции);

- *полиморфизм* (возможность связывать с одним и тем же именем процедуры разные алгоритмы обработки в зависимости от типов аргументов, часто называемая «перегрузкой операций»);

- *наследование* потомками возможностей предков.

Прокомментируем последнюю из перечисленных возможностей. Во многих случаях программная система нуждается в большом количестве однотипных объектов, а хранить информацию о методах и переменных отдельно для каждого объекта невыгодно. *Классы* содержат информацию, необходимую для генерации однотипных объектов, включая определения их методов и типов объектных переменных. Отдельные объекты класса содержат только ту информацию, которая отличает один объект от другого объекта того же класса, а именно значения объектных переменных. В классе допускается иерархия подклассов, наследующих свойства класса. ОО языки программирования предлагают пользователям обширные библиотеки классов общего и специального применения.

ООП — это не столько новый стиль написания программ или новый класс языков, сколько новая концепция программирования, требующая существенной ломки сознания и навыков программистов. Основные черты этого подхода ([122, с. 207]):

- понятие типа данных заменяется более общим понятием *класса* объектов;

- объектам свойственно индивидуальное поведение в соответствии с их ролью в системе;

- объекты действуют и взаимодействуют в общей для них среде;

- взаимодействие объектов становится возможным, если они способны посылать в эту среду и друг другу сообщения и своевременно и правильно реагировать на них.

ООП является исключительно гибким инструментом, позволяющим (в освоенной области) существенно повысить производительность программирования. Оно приобретает особую ценность при *агентном* подходе к имитационному моделированию. Однако за гибкость приходится платить: *каждый* доступ к значению данных требует вызова подпрограммы, что удлиняет рабочую программу и увеличивает время счета. К тому же, есть мнение, что «полиморфизм почти по определению является источником ошибок».

7.8.6. Требования к языкам

Языки следует сравнивать по степени приспособленности к предметной области. Перечислим и прокомментируем свойства ЯП, облегчающие решение упомянутых выше проблем программирования.

Надежность. Ключевой проблемой современной программотехники является *надежность* программ. С этой точки зрения существенны:

1. Компактность и концептуальное единство языка.
2. Ясное и недвусмысленное описание синтаксиса, семантики и прагматики языка.
3. Близость его конструкций к обычным средствам описания объектов предметной области (прежде всего — к стандартной математической символике).
4. Классификация данных по типам значений и разрешенным над ними операциям.
5. Возможность ясно и просто выражать функции и логику программы (в частности, единообразно записывать конструкции сходного назначения и по-разному — различного).
6. Наличие аппарата именованных констант.
7. Структуризация программы и ее составных частей.
8. Укрупнение операций над структурированными объектами.
9. Возможность локального ви́дения программы (например, посредством приближения описаний объектов к местам их использования).
10. Контролируемое взаимодействие частей программы.
11. Раннее обнаружение максимального числа допущенных ошибок, что достигается *статическим* контролем программы на этапе компиляции.
12. Отсутствие провоцирующих ошибки особенностей языка.
13. Особые средства обработки исключительных ситуаций.

«Идея доказательства правильности программ в значительной степени исчерпала себя, так как выяснилось, что в общем случае невозможно установить свойства результата работы программы или процедуры, не исполнив ее до конца», — С. С. Лавров, [122, с. 206]. Это

увеличивает актуальность перечисленных свойств ЯП и рациональных технологий программирования.

Производительность разработки. Повышению производительности разработки способствуют:

1. Высокий уровень языка (семантическая емкость конструкций).
2. Повторное использование модулей.
3. Параметрические (настраиваемые) модули.
4. Сборочное программирование.
5. Раздельная компиляция.
6. Объектно-ориентированное программирование.

Отметим некоторые дополнительные средства компоновки сложных программных систем:

- компоновка из модулей подсистем (иерархическая);
- динамическая компоновка (по мере обращений к процедурам);
- динамическая подгрузка библиотек (аналогично).

Дружественность АСПП по отношению к пользователю обеспечивают:

1. Компактность языка.
2. Естественность конструкций (об *АПЛ* и *C*, к примеру, этого не скажешь).
3. Возможность определения новых типов данных и операций.
4. Средства структуризации программ.
5. Оконный интерфейс.
6. Развитая и информативная диагностика.
7. Отладчик со средствами трассировки, планирования и отмены контрольных остановов (в том числе условных), отслеживания значений переменных.
8. Средства визуализации результатов счета (распределения значений массивов и построения графиков).

Переносимость. Условиями переносимости программ являются:

1. Стандартизация языка.
2. Отсутствие или, по крайней мере, локализация машинно-зависимых конструкций.
3. Управляемое представление чисел.

Средства программирования параллельных процессов нужны для задания и описания *параллельных процессов* в управляемой аппаратуре и при организации вычислений на многопроцессорных ЭВМ. Здесь имеются в виду средства автоматического распараллеливания вычислений и инструментарий синхронизации.

7.8.7. Технологии производства программ

Технология промышленной разработки программ непосредственно не связана с языком программирования, но имеет те же ориентиры — прежде всего надежность и производительность. По современным воззрениям, условия их достижения в промышленных условиях суть:

1. Примат этапов проектирования и тестирования над фазой кодирования.
2. Стратегия разработки типа вертикального слоения (быстрое создание прототипа с последующим наращиванием и совершенствованием реализации основных функций).
3. Развитая технологическая оснастка (базы данных и знаний, отслеживание версий и прохождения тестов, автогенерация «статистических» тестов со случайными исходными данными, автоматическое обновление объектных модулей, контроль покрытия ветвей алгоритма, профилирование трудоемкости и т. п.).
4. Жесткая (*и сертифицированная компетентными органами*) организация труда.

Особого внимания заслуживает проблема тестирования программ, которая встает перед коллективами программистов любой численности (в том числе единичной). О тестировании нужно задумываться раньше написания программ. Особое внимание обращается на сложные для реализации языковые конструкции, запутанные места в описании языка, отклонения от стандарта, возможности оптимизации, диагностику,

точность вычислений. Перечень подозрений играет роль внешней спецификации системы тестов. Каждый тест должен обнаруживать новый значимый симптом. Результаты тестирования нужно объяснить пользователю и обосновать их достоверность.

7.8.8. Языки прикладного программирования

В [210] приводится обзор применимых в целях *прикладного* программирования языков *ПЛ/1, АПЛ, Форт, Модула 2, Оберон, Ада, Алгол 68*. В этой книге мы покажем неприемлемость обычно рассматриваемых альтернатив (*Паскаля* и *C*) и дадим общую характеристику современного *Фортрана*.

7.8.9. Паскаль

«Нечеткость» *ПЛ/1*, унаследованная от первых версий *Фортрана*, и отсутствие в нем средств обработки списковых структур вызвали к жизни языки типа *Паскаль*, испытавшие заметное влияние *Алгола*. Паскаль выставляет своими приоритетами простоту для транслятора и ясность для программиста — требования взаимосвязанные и взаимодополняющие.

Паскаль приобрел особую популярность как язык для *начального обучения* программированию, в особенности системному, как средство разработки трансляторов и как база для работ по автоматической верификации (доказательству правильности) программ. Последнее определило такие принципиальные особенности его, как строгая типизация и статический контроль типов.

К структурированным типам относятся массивы, записи, множества, файлы. При вычислении выражений допускаются арифметические и логические операции, теоретико-множественные операции объединения, пересечения и разности множеств и операции отношения для скалярных типов.

Паскаль никогда не предназначался для серьезных прикладных разработок, о чем свидетельствуют уже отсутствие в нем операции возведения в степень, динамических массивов и встроенных комплексных переменных, примитивный (поэлементный) ввод-вывод массивов.

7.8.10. Язык C

Язык *C* сочетает элементы как языков машинного уровня (адресация аппаратных ресурсов ЭВМ), так и ЯВУ (структуры данных и управляющие

структуры). Он имеет богатый набор операций низкого уровня (сдвиги, поразрядные операции), механизм композиции примитивных типов. При сохранении гибкости ассемблерного программирования язык C абстрагируется от многих деталей и предлагает присущие ЯВУ структурированные управляющие операторы и данные (массивы и записи).

В C++ был исправлен ряд ошибок и добавлена поддержка ООП и параллельного программирования. Далее мы перечислим основные особенности языка C++, опуская в его обозначении «плюсы».

С-программы чувствительны к регистру, на котором набраны символы. В языке нет булева типа (число 0 представляет «ложь», а любое иное целое — «истину»). Логические операции имеют меньший приоритет, чем вычисление отношений. Наличие операций `&` и `*` (определения адреса переменной и косвенной адресации соответственно) позволяет реализовать сколь угодно сложные динамические структуры данных (стеки, списки и т. п.).

Диапазоны вещественных чисел (`float, double, long double`) можно переопределять в служебных файлах, что облегчает переносимость программ на другие платформы. Переменные внутри функций для ускорения обращения к ним можно объявлять как регистровые. Операторы объявления переменных допускаются в любом месте программы. Операция возведения в степень в C отсутствует.

Примечательным свойством C является возможность объединения операции и присваивания (например, задание положительных и отрицательных приращений переменной как до вычисления выражения, так и после). Есть даже «оператор-выражение»: конструкция `count++` увеличивает значение счетчика на 1. Это приводит к заметному отходу от стандартной математической нотации. Допускаются цепочки присваиваний (через знаки =). Все это делает программу более компактной.

Специфична запись условных операторов: `(x<1)? x+3; x*x`. При истинности проверяемого условия вычисляется выражение до точки с запятой, при ложности — после нее.

Все `case`-альтернативы должны разделяться операторами `break` (именно так программируются переключатели на машинном уровне). Тот же `break` применяется для досрочного выхода из цикла. Оператор `continue`, как в старом *Фортране*, заставляет игнорировать оставшуюся часть тела цикла и выводит на его заголовок.

Цикл `for` в C позволяет задавать перевычисление параметра по закону геометрической прогрессии и дополнительно изменять его в теле цикла. Эти возможности — источник потенциальных ошибок.

Каждый индекс многомерного массива при описании и использовании последнего заключается в отдельную пару квадратных скобок. Начальный индекс массива в C — только нуль. Это избавляет от вычитания адреса начального элемента при вычислении смещения, но может потребовать отхода от индексации, принятой в постановке задачи. Работа с *двумерными динамическими* массивами требует использования указателей, что усложняет программу и ее восприятие.

C не имеет отдельного синтаксиса для подпрограмм — они оформляются аналогично функциям со спецификацией `void` («нет ответного значения»). Функции C вызываются отдельными операторами (как и в *Паскале* — без `call`). Подстановка параметров производится либо значением, либо параметром ссылочного типа. Массивы не могут быть параметрами: передается адрес первого элемента массива, остальное — забота программиста. Вложенные процедуры в C не допускаются.

Внутри объявления класса в C можно включать объявления «дружественных» (`friend`) подпрограмм или классов, которые имеют полный доступ к приватным данным или операциям класса. Возможна «перегрузка» процедур (функций) — при условии различия в типе хотя бы одного параметра. ООП в C допускает множественное наследование. Имеются обработчик исключений и средства их возбуждения.

Язык C обеспечивает компактный и высокоэффективный объектный код, мобильность получаемых продуктов. Подводя итог, можно сказать, что C — ценный инструмент, но только в руках профессионала и для разработки *системных* программ. Недостатком C является меньшая понятность программ, что усложняет работу с ними и увеличивает вероятность появления ошибок. Ситуация усугубляется тем, что компилятор не производит строгого контроля типов.

7.8.11. Фортран

Алгоритмический язык *Фортран* — первый (1954–1957 гг.) и наиболее распространенный язык, ориентированный на программирование расчетных задач. Название языка образовано из начальных слогов английских слов FORmula TRANslator (переводчик формул). Сохраняющийся интерес к нему объясняется:

- громадным объемом накопленного прикладного программного обеспечения;

- близостью к *Фортрану* языка *ПЛ/1*, на котором также создано очень много прикладной математики;
- сравнительной простотой и компактностью языка и эффективностью трансляторов с него;
- модульным построением программ;
- встроенными средствами работы с комплексными переменными.

По мере того, как стандартом закреплялись последовательные версии этого языка (1966 и 1977 гг.), его возможности неуклонно возрастали. Начиная с *Фортрана 77*, стандарты стали активными и перешли от регистрации «общего ядра» ко внесению изменений: смешанных типов данных в арифметических вычислениях; данных текстового типа; именованных констант; развитию средств ввода-вывода; расширенному условному оператору. Все это позволило ему успешно конкурировать с несколькими поколениями языков-соперников. В частности, Американский национальный центр атмосферных исследований «является исключительно фортранным учреждением». В Ливерморской Национальной лаборатории «почти все вычисления, производимые на больших машинах, делаются на *Фортране*; это по-прежнему самый лучший язык для физиков». Циники заявляют, что через 30 лет язык научных вычислений будет очень сильно отличаться от того, что мы имеем сейчас, но по-прежнему будет называться *Фортраном* [98, с. 24].

Начиная с 1978 г. велась работа над новой версией этого языка, отвечающей повышенным требованиям мобильности, надежности, эффективности и удобства сопровождения. Важнейшие из новшеств *Фортрана 90* (далее *Ф90*) — это обработка массивов с использованием кратких, но достаточно мощных обозначений и возможность введения определяемых пользователем типов данных и манипулирования ими. Кроме того, в язык введены:

1. Ссылки.
2. Средства управления точностью вычислений и ряд связанных с ними числовых справочных функций.
3. Параметризация встроенных типов, дающая возможность процессорам поддерживать короткие целые и упакованные логические типы, очень большие наборы символов, а также более чем две точности для действительных и комплексных типов.

4. Новый тип программной компоненты — модуль, пригодный для глобальных описаний данных и библиотек процедур и обеспечивающий надежный метод инкапсуляции производных типов данных.

5. Свободный формат записи, более удобный для работы с терминала и допускающий структурированную запись программ.

6. Управляющая конструкция `SELECT CASE` и новые формы циклов.

7. Внутренние и рекурсивные процедуры, возможность использования необязательных и ключевых параметров при вызове процедур.

8. Динамическое выделение памяти.

9. Совершенствование средств ввода-вывода, введение обработки частичных записей и стандартизация средства `NAMELIST`.

10. Множество новых встроенных процедур.

11. Требование, чтобы компилятор выявлял не только нарушения синтаксиса, но и устаревшие конструкции.

В общем можно сказать, что в него включены наиболее полезные средства новых языков программирования, *выдержавшие испытание временем*. Для иллюстрации приведем примеры работы с массивами.

В *Ф90* возможно компактное описание поэлементных операций над конформными (имеющими одинаковую протяженность по соответствующим измерениям) массивами и вырезками. Во фрагменте

```
real a(6), c(6), d(8)
a=7.0
d=6.67
c=a+0.5*d(3:8)
a=exp(c)
```

первые два присваивания разрешены из-за постулируемой конформности скаляра и произвольного массива; третье допустимо из-за выбранной протяженности вырезки и поэлементного сложения векторов; четвертое определяет *поэлементное* вычисление показательной функции.

Ряд встроенных функций определен для массивов в целом. Скалярное перемножение векторов `a` и `b` обеспечивает `dot_product(a,b)`.

При комплексном a для b автоматически берутся комплексно сопряженные значения. Встроенная функция matmul(a,b) выполняет матричное умножение a на b (заметим, что в число ее аргументов не входят размеры операндов). В случае логических операндов при вычислении обеих этих функций арифметические умножение и сложение заменяются одноименными логическими операциями.

Конструкция where позволяет запрограммировать действия с некоторыми элементами массива, отбираемыми по формируемой с помощью операций отношения *маске*. Так, во фрагменте

```
where (a<0) a=0
```

все отрицательные элементы матрицы a будут заменены нулями. Подчеркнем, что все компоненты этой и родственных ей конструкций являются матричными. Более развернутая форма этой конструкции (с elsewhere) позволяет одновременно задать альтернативное преобразование для остальной части массива.

Справочные функции дают информацию о структуре массива и его измерениях. Такая информация используется в процедурах, которым передаются массивы переменного размера, для уменьшения числа параметров. Функция lbound(a[,<dim>]) возвращает массив нижних границ массива A (при вызове lbound(a,2) — границы по второму измерению). Аналогичные результаты для верхних границ дает hbound. Функция shape(a) выдает вектор экстентов (протяженностей) массива-аргумента, size(a[,dim]) формирует экстент по заданному измерению, а при опущенном номере измерения — полное число элементов. Ниже приведено описание *матричной* (по типу значения) функции умножения матрицы на вектор:

```
function mvm(a,b) result (c)
   real a,b,c
   dimension a(:,:),b(:),c(size(a,1))
   do i=1,size(a,1)
      c(i)=dot_product(a(i,:),b)
   end do
end function mvm
```

Размер массива часто определяется после некоторых вычислений. Именно тогда (т. е. строго по фактической потребности) и следует выделить память для него. Предварительно массив должен быть объявлен как *размещаемый* — с указанием типа значений, ранга и атрибутом allocatable, например

```
real, allocatable  :: a(:,:), b(:)
```

Заметим, что в описании `dimension` указывается (двоеточиями) только *количество* граничных пар. После определения значений всех входящих в границы переменных оператором вида

```
allocate (a(n,0:n+2),b(m*m))
```

производится собственно выделение памяти (список создаваемых объектов заключается в скобки, даже если объект один). Выражения для граничных пар должны быть целого типа. По миновании надобности динамическая память освобождается оператором `deallocate` (уже без указания граничных пар).

Фортан 77 целиком содержится в *Ф90*, но некоторые его средства отмечены в стандарте как устаревшие и могут быть удалены из языка при очередном его пересмотре. Сейчас в этот список входят:

- арифметический `IF`;
- переменные цикла и управляющие конструкции оператора `DO` вещественного типа и двойной точности;
- завершение нескольких циклов одним общим оператором;
- назначаемый `GO TO`;
- переменный `RETURN`;
- назначаемые метки оператора `FORMAT`.

Отдельные элементы *Ф90* реализовывались на машинах типа IBM PC, начиная с *Microsoft Fortran 5.0*, а в полном объеме — в четвертой версии *Фортрана PowerStation*. Она содержит не только систему программирования (язык, транслятор, загрузчик, библиотеку подпрограмм, справочные средства), но и набор инструментов поддержки больших программных проектов (идентификация и разграничение версий, контроль связей программных единиц, профилировка трудоемкости и отлаженности, перенос на другие платформы и программные среды и др.). *Ф90* непосредственно не имеет средств программирования машинного уровня и параллельных процессов и не ориентирован на создание систем реального времени.

Fortran PowerStation 4.0 на 2000 г. являлся безусловным лидером среди систем программирования научно-технических расчетов. Однако богатство и нетривиальность возможностей языка и технологической среды требуют обстоятельного освещения в отдельной книге — см. [205],

а также справочник по *Ф90* [140], учебное пособие [18] и входящие в состав системы электронные книги.

Digital Visual Fortran 6.x (Digital Equipment Corp., Compaq) соединяет отработанное *Microsoft* технологическое окружение *Developer Studio* с более совершенным компилятором и, если верить электронной документации, рекомендован для замены *Fortran PowerStation 4.0*. Он дополнительно реализует средства новейшего *Фортрана 95*:

- конструкцию `FORALL`;
- автоматическое освобождение памяти, затребованной для массивов со свойством `ALLOCATABLE`;
- встроенную подпрограмму `CPU_TIME` контроля времени счета,

однако поддерживает и все старые версии, начиная с *Фортрана 66*. Компилятор имеет богатые возможности оптимизации объектного кода, включая индексирование массивов внутри циклов и открытую вставку тел вызываемых функций. Имеется специальный инструмент разработки модулей — `Module Wizard`. В профессиональную версию системы включены библиотеки численных подпрограмм IMSL, ее улучшенная версия CXML (обе — на *Фортране 77*) и MP90 — на *Фортране 90* [212].

Программисту предоставляется ряд оправдывающих название системы дополнительных удобств *визуализации*:

- текстовый редактор с выделением цветом ключевых слов языка;
- средство просмотра структуры программы (иерархия вызовов функций и подпрограмм);
- отладчик с возможностями прослеживания логики и изменения в окнах значений переменных и массивов.

Новейший Фортран фирмы Intel реализует версию языка 2003 г. и отличается более строгим синтаксическим контролем. Существуют его бесплатные версии под Linux.

7.9. Логическое программирование

Численные либо символьные вычисления не обязательно задаются алгоритмически (процедурно). Иногда можно ограничиться постановкой (описанием) задачи и указанием порядка ее упрощения. При этом задача

разбивается на тривиальные (граничные) случаи и на общие, последовательно сводимые к более простым.

Для примера приведем программу быстрого возведения в степень на языке *Пролог* [207]. Четная степень переменной получается возведением в квадрат половинной степени, а нечетная — умножением на основание предыдущей четной.

```
domains
   n   = integer
   x,p = real
predicates
   fastpow(x,n,p)
clauses
   fastpow(X,0,1).
   fastpow(X,N,R):-
      0=N mod 2,        /* если */
      M=N div 2,
      fastpow(X,M,Q),
      R=Q*Q.
   fastpow(X,N,R):-     /* иначе */
      M=N-1,
      fastpow(X,M,Q),
      R=Q*X.
```

Здесь нам достаточно рассмотреть раздел `clauses`. Первое из его предложений утверждает, что нулевая степень любого аргумента равна единице, второе формирует результат `R` для четной степени через половинную `Q`, третье — через уменьшенную на единицу. По запросу вида

```
goal
   fastpow(5,8,P),      /* 390625 */
   writef("P = %e",P).
```

получаем результат (он записан как комментарий). Реальные применения этого алгоритма связаны с возведением в степень *матриц*.

Цель данного примера — обратить внимание соискателя на возможность *непроцедурного* подхода к решению задач.

Глава 8

На финишной прямой

8.1. Заключение совета

Дивергенция современной науки делает любое индивидуальное восприятие диссертации субъективным и неполным. Возможны недооценка значимости слишком оригинальных работ и одностороннее ви́дение работы, выполненной на стыке специальностей. Поэтому квалификационные работы оцениваются *коллективным* разумом — диссертационным и экспертным советами.

Диссертационные советы создаются при широко известных своими достижениями в соответствующей области знаний вузах и научных организациях, получивших государственную аккредитацию, и могут принимать защиты не более чем по пяти специальностям. В составе совета по защите докторских диссертаций должно быть по крайней мере семь докторов наук по каждой специальности совета, в том числе не менее пяти докторов наук из организации, при которой создается совет. Если работа проводится на стыке специальностей, не все из которых разрешены совету, организуется *разовая защита* с привлечением внешних специалистов. Предполагается [104] постепенное сворачивание сети кандидатских советов и (при недостаточном числе докторов в отдельных организациях) — учреждение региональных советов.

Приняв к защите докторскую диссертацию в виде *научного доклада*, диссертационный совет направляет в вышестоящую инстанцию ходатайство с надлежащим обоснованием и приложением списка опубликованных соискателем научных работ по теме диссертации для получения разрешения от экспертного совета Высшей аттестационной комиссии.

Диссертационные советы несут ответственность (вплоть до прекращения их полномочий) за качество и объективность экспертизы диссертации, обоснованность принимаемых решений и призваны обеспечить высокий уровень требований при определении соответствия диссертации критериям, установленным Положением.

По итогам публичной защиты *совет*, состоящий из крупных специалистов соответствующей области науки, должен подтвердить актуальность диссертации, ее новизну, теоретическую значимость, достоверность, наличие личного творческого вклада соискателя и практическую полезность результатов, а также указать, в соответствии с какими требованиями пункта 7 Положения квалифицировалась диссертация. Эта констатация отражается в *Заключении*, которое совет принимает открытым голосованием после решения о присуждении ученой степени. *Проект* названного документа может также служить основой для составления заключения кафедры, экспертной группы совета, окончательной редакции введения в работу, автореферата. Он играет ключевую роль в подготовке к защите и в самой защите. Поэтому рекомендации по заключительным этапам работы диссертанта мы начнем именно с него.

Проект Заключения с *конкретной* аргументацией по всем перечисленным пунктам соискатель готовит с помощью руководителя (консультанта). Структура заключения по духу и букве Положения *не зависит* ни от области знания, ни от формы представления работы — диссертация как таковая, монография или научный доклад по совокупности трудов. Из этого, в частности, следует, что требования к соискателю *едины*. Проект корректируется членами совета — специалистами по профилю работы — в процессе их обязательного ознакомления с диссертацией и после объявления результатов голосования о присуждении искомой степени обсуждается и принимается полным составом совета.

Руководящими документами в 2012 г. впервые регламентирована *форма* этого документа: совет (для начала — соискатель совместно с руководителем) должен заполнить бланк со стандартным перечнем вопросов. Содержание этого перечня в принципе не ново, но само его введение исключает пропуск ключевых характеристик диссертации, дающих основание для присуждения ученой степени или отказа в таковом.

1. Формальные сведения о соискателе, теме и грифе диссертации; о диссертационном совете и специальности; данные о принятии к защите, месте выполнения, руководителе, официальных оппонентах, ведущей организации.

2. Общая характеристика работы содержит перечень разработанных соискателем положений: что сделано (введено, предложено, доказано), зачем это сделано и что дает.

3. Теоретическая значимость исследования и ее обоснование. Здесь указывается, что именно доказано и какими средствами. Элементами теоретической значимости являются также перечень изученных (изложенных, раскрытых) вопросов с указанием новых предложений соискателя.

4. Значение для практики. Это значение подтверждается перечислением того, что создано, разработано, представлено, внедрено; указанием открывающихся перспектив; ссылками на предложения соискателя, адресуемые более высоким организационным уровням.

5. Оценка достоверности результатов диссертации. Здесь указываются экспериментальные и теоретические подтверждения. К первым, в частности, относятся результаты численных экспериментов. К теоретическим гарантиям достоверности относятся содержательность обзора состояния вопроса; ссылки на современные и авторитетные источники; состоятельность исходных посылок; применение апробированного теоретического и расчетного аппарата; согласие результатов с полученными ранее другими методами, для частных и предельных случаев; положительные результаты внедрения.

6. Личный вклад соискателя. Отмечается, в чем он состоит; какова роль руководителя, соавторов и учеников; описывается апробация результатов (публикации и выступления на конференциях и семинарах различного уровня — раздельно по каждому уровню с обязательным выделением ВАКовского).

7. Резолютивная часть. Здесь сообщаются дата проведения заседания совета, итоги голосования и решение о присуждении искомой степени.

8. Подписи председателя и ученого секретаря совета.

Следует подчеркнуть категорическое требование *конкретности* ответов на все пункты бланка Заключения. Например, для поддержки *достоверности* нужно указать, где были взяты (как выбирались) исходные данные; что именно, с чем и при каких условиях совпадает; в какой

среде проводились имитационные эксперименты, при каком числе опытов, какова дисперсия получаемых оценок; как выбирался шаг численного интегрирования, и т. д.

Проект Заключения совета полностью характеризует диссертацию и определяет работу соискателя при подготовке к защите.

8.2. Публикации

Выше уже отмечалась необходимость опубликования основных результатов работы за месяц (по докторской — за два месяца) до защиты. Соискатель (в особенности докторант) должен приложить к этому максимум усилий *сразу* после получения достаточно значимого результата, но убедившись в его *достоверности*. Если речь идет о приоритете открытия или изобретения, последние надо оформить *перед* публикацией.

«Достаточная полнота опубликования» подразумевает не только содержание, но и аудиторию — по крайней мере всероссийскую. Хотя бы часть публикаций должна быть без соавторов: иначе совет или ВАК обязательно спросят, что сделал *лично* соискатель, и чем это подтверждается. По этой причине опытные руководители воздерживаются от избыточного соавторства с диссертантами.

Наиболее авторитетны публикации в рецензируемых научных журналах. Перечень «зачетных» *зарубежных* журналов выставлен на сайте ВАК. Хотя бы одна публикация в «зачетных» журналах требуется и по кандидатской диссертации. К публикациям в них предъявляются наиболее высокие требования. Эти требования по содержанию аналогичны требованиям к диссертациям — разумеется, с учетом характера журнала (теоретический, экспериментальный, методический), его специализации и ограниченного объема статьи (как правило, не более половины авторского листа). От монографии статью отличают малый объем, целостность и простота композиции. В отличие от реферата, статья содержит *доказательства достоверности* результатов.

Из *названия* статьи должно быть ясно, какая основная задача решена и к какой из существующих в данном журнале тематических рубрик следует отнести предлагаемую статью. Название должно *кратко* отражать *научное* содержание статьи. В качестве контрпримера сошлемся на работу классика психиатрии В. М. Бехтерева «*О насильственном смехе в виде приступов, сопровождающихся тонической судорогой и чувством щекотания в левой руке*».

В *аннотации* могут быть названы более частные проблемы, используемый метод (математический аппарат), перечислены основные результаты работы, указано число цитированных источников.

Теоретическая статья структурируется на введение, основные разделы, заключение, список литературы и приложение. Их наполнение аналогично соответствующим частям диссертации. *Введение* в доступной для специалистов из смежных областей форме должно определять значимость поставленных в работе вопросов и полученных результатов. Основные разделы пишутся на *концептуальном* уровне. Статья ценится, если в ней мало «прозы», четко обозначены связи с реальными задачами, математические выкладки быстро ведут к цели. Трудоемкие преобразования и вспомогательные таблицы выносятся в приложение. Примеры нужны как академические (формальные), так и прикладные. Особенно желательны примеры, которые не решаются другими методами. Указание области возможных приложений помогает найти партнеров и спонсоров. В *заключении* подводятся итоги исследования и выражается признательность способствовавшим его выполнению лицам и организациям (в частности, через ссылки на предоставленные гранты). *Список литературы* должен показать знакомство с публикациями по обсуждаемой теме — новейшими и выполненными другими авторами.

Работа *экспериментального* характера включает введение (цель), методику эксперимента, результаты, анализ, выводы. По той же схеме (плюс обзор литературы) строится и диссертация такой направленности.

В журналы обычно представляют как печатный текст, так и его электронную форму (на дискете). Иногда допускается пересылка файла по электронной почте. Текст должен быть набран в одной из версий *Word*'а или в системе LaTeX, на которую переходит все большее число издательств. Специфические требования к оформлению статей сообщаются в одном из номеров журнала (обычно — в первом или последнем из годового цикла).

Серьезные журналы вынуждены отклонять не менее половины направленных в них статей. Практически *статью принимают, если к ней нельзя придраться*. Поэтому важно знать типичные основания для отклонения: слабость мотивации (актуальности) и вклада; отсутствие сопоставления с известными источниками; ошибки в формулах; низкий литературный уровень; список литературы убог и содержит ссылки преимущественно на собственные работы. Бесполезно писать, что результат абсолютно новый: рецензент сочтет, что либо автор не знает литературы в предметной области, либо задача никому не интересна.

Первый отказ редакции следует считать началом, а не концом разговора. Ответ нужно давать по пунктам рецензии. Если рецензент чего-то не понял — в этом всегда есть вина автора. По возможности надо соглашаться с рецензентом и вносить требуемые исправления.

К опубликованным работам приравниваются: дипломы на открытия; авторские свидетельства; патенты на изобретения; свидетельства на полезную модель; патенты на промышленный образец; программы для ЭВМ; базы данных; зарегистрированные в установленном порядке топологии интегральных схем; депонированные работы; материалы конференций; публикации в электронных изданиях, зарегистрированных во ФГУП «Информрегистр». «Приравненные» работы удлиняют список трудов соискателя, но не отменяют необходимости публикаций в ведущих журналах. В любом случае *все они должны быть выполнены по теме диссертации*.

Доклад на конференции пишется аналогично статье. За последний год аспирант успевает опубликовать тезисы 1–2 докладов. Как «рецензируемые публикации» засчитываются только доклады на всесоюзных (в прошлом), всероссийских и международных конференциях. Тезисы докладов жестко ограничиваются в объеме (от одной до четырех страниц). Надо суметь заинтересовать ими программный комитет конференции. В тезисах хватает места только на постановку задачи, описание результата и его оценку; поэтому общие места и лишние слова должны вымарываться беспощадно. Требования к материалам конференции указываются в извещении о ее проведении.

Депонирование обеспечивает срочное утверждение приоритета и ознакомление научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, вузов, отдельных ученых и специалистов с рукописями статей, обзоров, монографий, материалов конференций, совещаний и симпозиумов узкоспециального характера, которые нецелесообразно воспроизводить большим тиражом.

8.3. Расширенный семинар

Соискатель имеет право направить диссертацию в любой созданный по решению ВАК диссертационный совет, одной из специальностей которого соответствует диссертация. Совет принимает диссертацию к защите после публикации на должном уровне ее основных результатов — по

представлению научного семинара и назначенной председателем совета экспертной группы.

Расширенный семинар посвящается работе в целом и отличается от проведенных ранее рядом особенностей:

- проводится в расширенном составе с обязательным присутствием докторов наук — членов диссертационного совета по избранной специальности, а также председателя совета или его заместителя;
- его протокол с указанием состава участников становится частью диссертационного дела;
- диссертант должен не только рассказать содержание работы, но и убедить собравшихся в том, что она удовлетворяет требованиям ВАК к диссертациям заявленного уровня.

На расширенном семинаре, по опыту защит, должно быть порядка 20 (для докторанта — 30)[1] слайдов электронной презентации или плакатов формата А0 — пока в черновом виде. К этому дню соискатель при участии руководителя (консультанта) должен подготовить полный текст диссертации и автореферата, проект заключения совета и расчета рассылки авторефератов, заручиться согласием предполагаемых официальных оппонентов и ведущего предприятия.

Доклад соискателя на расширенном семинаре делается по расширенному же регламенту (до 40 минут по кандидатской и часа — по докторской диссертации) и включает в себя:

- обоснование проблемы, цели и темы исследования;
- перечень поставленных задач;
- их постановку и решение — по главам диссертации;
- сводный перечень основных результатов;
- заявление о том, что все поставленные задачи решены.

Полезно вооружиться тезисами (на карточках) с разметкой их по времени. Не следует читать содержимое плакатов: нужно говорить, *о чем они*. В докладе следует говорить о том, *чего удалось добиться*, и в минимальной степени — *как*. В конце доклада перечень результатов сопоставляется с поставленными задачами, и применительно к каждому

[1] Зависит от традиций совета, принимающего работу.

результату подчеркиваются элементы новизны, достоверности, теоретической и практической значимости, позже отражаемые в проекте заключения совета.

Плакаты (слайды презентации) должны содержать лишь тот материал, на который будут сделаны ссылки при докладе (с небольшим запасом под наиболее вероятные вопросы). В «электронном» варианте по крайней мере наиболее авторитетных участников семинара следует обеспечить раздаточным материалом. На этом семинаре и непосредственно на защите предпочтительно использование лазерной указки. Для удобства ссылок и облегчения возможного изменения состава и последовательности плакатов они помечаются *навесными* номерами. Графики и диаграммы вследствие большей их наглядности предпочтительнее табличных форм представления числовых данных. В [135, с. 133–141] приводятся примеры правильных и неправильных таблиц и диаграмм.

Не следует загромождать плакаты промежуточными формулами и текстом. Не пытайтесь разместить на плакатах все содержание диссертации. Если в диссертации решены несколько частных задач, в совокупности с ранее решенными позволивших справиться целиком с *комплексной* проблемой, надо привести *общую схему* последней с выделением контуром, цветом или штриховкой *вклада диссертанта*. То же относится к предложенным диссертантом модификациям ранее известных алгоритмов и схем.

При значительном сходстве нескольких решенных задач на плакаты выносится одна из них, а остальные перечисляются. Обязательны плакаты, иллюстрирующие преимущества предложений докладчика (полезный эффект) в сравнении с ранее достигнутыми показателями.

Результаты работы должны быть сопоставимы (по формулировкам и порядку следования) с перечнем поставленных задач.

Расширенный семинар — это самое тяжелое испытание для диссертанта по следующим причинам:

- Соискатель еще не может *подняться над диссертацией*, правильно оценить отдельные результаты и расставить акценты.
- У него (если это не докторант) отсутствует достаточный опыт публичной дискуссии с незнакомыми оппонентами.
- В отличие от самой защиты, соискатель не будет иметь заранее подготовленного списка замечаний по работе.

- Среди участников семинара окажется гораздо больше узких специалистов по теме диссертации, к тому же более агрессивных (по молодости), чем члены совета.

- Поскольку семинар — расширенный, на нем могут появиться новые лица с совершенно неожиданными взглядами и предложениями. Не сдерживаемые жесткой регламентацией и авторитетом совета, такие гости из соображений самоутверждения или борьбы научных школ могут повести полемику с логическими передержками, в излишне резком тоне, с переходом на личности.

- Родной коллектив, заботясь о собственной репутации в глазах совета и качественном пополнении своих рядов, иногда также склонен устроить соискателю «момент истины».

В этих условиях соискатель должен проявить себя эрудитом и бойцом, более того — рыцарем («держать удар», быть вежливым с оппонентами, вести дискуссию по правилам научной этики[2]). Семинар, помимо психологической тренировки, дает возможность понять, как выглядит диссертация со стороны, уяснить и скорректировать слабые места. Неожиданно ценными бывают замечания практиков-специалистов: другой взгляд, приоритеты, критерии, ограничения.

Обычно расширенный семинар принимает решение о представлении работы в совет «после исправления указанных в ходе обсуждения недостатков». Замечания нужно собрать, сгруппировать, сопоставить (среди них могут быть взаимно исключающие) и оценить. Безусловно должны быть учтены замечания, ставящие под сомнение диссертабельность работы. Из остальных подлежат реализации замечания, устранение которых возможно в приемлемый срок и не разрушает концепцию диссертации. Само устранение обычно возможно в двух вариантах: дополнительная проработка и дополнительные ограничения (допущения). Первый, разумеется, предпочтительнее, но гораздо более трудоемок. Слишком далеко следуя по второму, можно прийти к версии, не имеющей научной и/или практической ценности.

Семинар принимает *заключение по диссертации*, в котором должны быть отражены: личное участие автора в получении изложенных результатов; степень достоверности; их новизна, научная ценность и практическая значимость; специальность, которой соответствует диссертация; полнота публикации материалов; обоснованность ограничительно-

[2]Относительно поведения на семинарах напомним рекомендации из разд. 3.6.

го грифа; целесообразность защиты диссертации (на соискание ученой степени доктора наук) в виде научного доклада.

При представлении работы в совет должны быть названы предполагаемые оппоненты и ведущая организация, (вуз, НИИ, проектный институт, КБ и т. п.), близкая к направлению работы, известная своими результатами в соответствующей области и имеющая деловые и личные связи с вашей организацией. В отзыве ведущей организации отражается значимость полученных автором диссертации результатов. В отзыве о прикладных работах должны также содержаться конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Предлагается также проект расчета рассылки.

Обретение оппонентов — это самостоятельная и очень важная подпроблема защиты диссертации. Диссертационные советы назначают официальных оппонентов по диссертации из числа компетентных в соответствующей отрасли науки ученых, предварительно *давших на это свое согласие*. Практически над указанной проблемой нужно задумываться уже на первом году аспирантуры — как только определилось направление работы и получены первые результаты. Начинать следует с приобретения скромной, но широкой известности среди специалистов, посещая доступные семинары и конференции и стремясь засветиться на них — для начала как эрудированный и заинтересованный слушатель. Той же цели служит написание отзывов на чужие диссертации под наблюдением старших коллег. Очень важен благожелательный тон вопросов и замечаний, оставляющий надежду на взаимность. Стремитесь завязать контакты с молодыми специалистами, а по мере получения собственных результатов — и с опытными. Развивайте эти контакты; пытайтесь быть хоть чем-то полезными другой стороне: будущих оппонентов принято «окучивать» (в рамках научной этики). Приложите максимум усилий к решению проблемы оппонентов, не перекладывая ее на плечи руководителя целиком.

Диссертационный фольклор отмечает, что оппонент должен иметь представление о предмете (иначе не за то похвалит), но не быть узким специалистом по нему (будет копать слишком глубоко). Оппонент должен иметь печатные труды по профилю диссертации, а соискатель — ссылаться на них в тексте работы.

Экспертные советы отслеживают случаи «перекрестного опыления» («я твоему — ты моему»). Рискованно приглашать в оппоненты *молодых докторов*, испытывающих потребность в самоутверждении. Не нужно гнаться за оппонентами-«звездами»: они сильно заняты; вследствие, как правило, преклонного возраста неохотно берутся за оппониро-

вание (особенно выездное); могут задержать отзыв и/или не приехать на защиту.

В заключение этого вопроса отметим, что оппонирование — это ответственная и нервная работа, оплата которой далеко не покрывает затраченных усилий[3]. Поэтому соискатель должен быть готов к их отработке — написанием отзывов по просьбе своих оппонентов в дальнейшем.

Официальные оппоненты должны представлять *различные* организации, причем только один из них может быть членом данного совета. Официальными оппонентами *не* могут быть:

- члены пленума, президиума и сотрудники аппарата ВАК;
- руководители экспертных советов ВАК;
- председатель заседания совета, принимающего диссертацию к защите;
- научный руководитель и консультанты соискателя;
- его соавторы по опубликованным работам;
- ректор и проректоры вуза, при котором работает совет;
- сотрудники подразделения, где выполнялась диссертация или где ведутся работы, по которым соискатель является заказчиком либо исполнителем.

8.4. Написание автореферата

Реферат в БСЭ определяется как «краткое изложение содержания книги, учения, научной проблемы и т. д.; доклад на определенную тему, освещающий ее вопросы на основе обзора источников».

Автореферат диссертации является одним из ключевых элементов диссертационного дела. Автореферат — не самостоятельное научное исследование, а адекватная копия диссертационной работы, меньшая по объему и предназначенная для оперативного ознакомления научной общественности с новым знанием. Трудность его написания состоит в *информационной свертке*. Именно по автореферату научная общественность вынуждена оценивать эрудицию, одаренность, культуру

[3]Недавно автору оплатили оппонирование по *докторской* диссертации из расчета трудоемкости 5 часов по 300 руб. в час. Между прочим, рецензирование дипломной работы выпускника оценивается в 10 часов!

мышления, вклад в науку и литературные способности соискателя. Подчеркнем, что все перечисленные качества *подлежат оценке* согласно Положению и дополнительным разъяснениям ВАК. Соискатель получает право на защиту вместе с разрешением на размножение автореферата.

Объем автореферата для соискателя кандидатской степени составляет один авторский лист, для докторанта — два. Авторский лист (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы) — это примерно 22 страницы машинописного текста через два интервала. При наборе на ПЭВМ выполняется перерасчет с учетом размера шрифта, длины строки и высоты страницы. Типография обычно требует уложить текст, набранный через полтора интервала, в 16 (32) страницы соответственно.

Жанр автореферата весьма специфичен и не совпадает ни с жанрами публикации, ни с жанром диссертации. Автореферат состоит из введения, обзора содержания работы, заключения и списка публикаций соискателя по теме диссертации.

Во введении кратко обосновывается актуальность работы и дается ее сводная характеристика, подытоженная в проекте заключения совета (исключая классификационные признаки). Далее описывается структура работы (общий объем, число глав, приложения).

В основной части излагается содержание глав — постановка задачи на главу, использованный аппарат, полученные результаты с краткими комментариями.

Заключение заимствуется из диссертации в максимально сокращенной форме (с укрупнением выводов).

Далее указывается число наименований в списке использованной литературы. О каждом *приложении* сообщаются его содержание и объем (количество таблиц, графиков, строк программного кода и т. п.). В конце автореферата приводится список публикаций соискателя *по теме диссертации* — раздельно по видам (монографии, учебники, статьи, авторские свидетельства и патенты, доклады на конференциях). К сожалению, типична формулировка «*Опубликовано 8 тезисов докладов*» — вместо «тезисы 8 докладов».

Обычными дефектами авторефератов являются нехватка конкретики по новизне, перегрузка стандартными общими схемами исследования и тривиальными соображениями.

В автореферат нельзя вставлять ссылки на работы соискателя, не вышедшие из печати, а также добавлять данные или принципиально

важные рассуждения, *которых нет в диссертации*. Оппоненты обязаны подтвердить соответствие автореферата полному тексту диссертации.

В расчет рассылки автореферата включаются: обязательные экземпляры по списку библиотек — см. [117]; библиотека по месту защиты; организации, в которых работают оппоненты; ведущее предприятие; ВАК и заинтересованные организации, дающие отзывы; персонально — несколько крупных специалистов и члены диссертационного совета. Нормой считается получение отзывов примерно на десяток авторефератов. В конверт с несекретным авторефератом полезно вложить записку руководителя или другого авторитета с просьбой дать отзыв.

8.5. Выездные семинары

Традиционно соискатель проводит семинары по своей работе на ведущем предприятии, у внешнего оппонента и в одной или нескольких организациях, согласившихся дать отзывы на автореферат. Эти семинары по обстановке на них напомнят ему недавно проведенный расширенный, но пройдут несколько легче. Скажется приобретенный опыт; отрицательный эффект «чужих стен» компенсируется встречной заинтересованностью организации в оппонентах, отзывах, контактах по НИР. Здесь особенно важен «политес» — соискатель должен держаться скромно, но с достоинством, помня, какую авторитетную организацию он представляет.

В процессе таких поездок обычно возникает (что греха таить!) вопрос о прототипах отзывов. Постарайтесь их разнообразить[4], не сводите к пересказу содержания работы. Радуйтесь, если в прототип внесут изменения: это означает, что кому-то ваша диссертация небезразлична. Предусмотрите канал оперативной обратной связи для контроля своевременной высылки отзывов.

8.6. Подготовка защиты

За три месяца до защиты *открытой* докторской работы в Рособрнадзор представляется стандартизованный текст объявления о ней. Позже он приобщается к делу с указанием номера Бюллетеня ВАК, в котором был опубликован. Автореферат и текст объявления по докторской защите размещаются на официальном сайте ВАК, а по кандидатской — на сайте организации, при которой работает совет.

[4]ВАК остро реагирует на тождественность отзывов — Бюлл. № 3, 2006 г.

8.6.1. Документы

Перед защитой соискатель должен тщательно проверить комплектность (по списку, предоставленному секретарем совета) и качество подготовленной документации. Типичные общие недостатки — отсутствие дат, необходимых подписей и печатей. Специфические дефекты отдельных документов ([59], Бюлл. ВАК № 2, 2006 г.) перечисляются ниже:

Листок по учету кадров: не названо подразделение, в котором работает соискатель; нет номеров ранее полученных дипломов; не отмечен *уровень* владения иностранными языками; не указано количество опубликованных работ.

Список трудов: в совместных работах не указан вклад соискателя; включены работы неопубликованные, находящиеся в печати, не связанные с темой диссертации; работы по докторской диссертации опубликованы в недостаточно солидных изданиях (не входящих в перечень); в списке литературы отсутствуют труды официальных оппонентов, что дает основание усомниться в их компетентности.

Справка о сданных экзаменах: в комиссии по иностранному языку нет специалиста или он не доктор; философия сдана не в вузе или институте РАН.

Извещение о защите: нет данных о публикации в Бюллетене ВАК (для открытых докторских работ).

Защита на основе доклада: нет сведений о разрешении ВАК.

Диссертация: неверно указан шифр специальности (это часто бывает «в окрестности» 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»); не подписана соискателем; отсутствует оглавление; различаются формулировки новизны и значимости работы в диссертации и автореферате; при перечислении результатов указывается, что проделано (надо — что *получено*).

Акт экспертизы: нет заключения о грифе.

Заключение кафедры: не указано количество присутствовавших докторов и кандидатов наук по специальности; заседание проходило под председательством руководителя.

Справки по форме 4.2 и 4.2б: отсутствуют название диссертации, шифр и наименование специальности, номер протокола заседания

совета; для кандидатской — выбран докторский макет; не указаны срок полномочий совета, кто из оппонентов — член совета, почему заменен председатель или секретарь.

Отзыв оппонента: нет заключения о соответствии диссертации конкретным требованиям Положения; поздно представлен (менее чем за 15 дней до защиты); анализ диссертации заменен пересказом содержания глав; выводы не аргументированы.

Отзыв ведущего предприятия: не указано, где и когда обсужден; нет рекомендаций по использованию результатов.

Отзывы на авторефераты: тождественны; не заверены должным образом.

Заявление: не на имя председателя; отсутствует «защищается впервые» или «повторно»; нет визы председателя и/или даты.

В отзыве научного руководителя (консультанта) должна быть дана характеристика *личности соискателя как научного работника* — его эрудиции, степени самостоятельности, достоверности полученных результатов (это в особенности касается экспериментальных работ); существенных для работы в коллективе психологических качеств; педагогического потенциала.

8.6.2. Ответы на замечания

После сбора отзывов соискатель с помощью руководителя делит поступившие замечания на серьезные, несущественные (описки, небрежность формулировок, стилистические погрешности) и дискуссионные. С последними проще согласиться. Выделяются и скопом (с извинениями) отводятся замечания, «порожденные краткостью автореферата».

Серьезные замечания, полученные из разных источников, группируются. Сводный список замечаний представляется секретарю совета для согласования и зачтения во время защиты. На замечания по автореферату, отзывам ведущего предприятия и оппонентов (отдельно по каждому) опять же с помощью руководителя готовятся ответы *с учетом порядка зачтения отзывов* — чтобы исключить дублирование ответов. Обычно первым выступает наиболее титулованный оппонент. При равных ученых степенях и званиях «местный» оппонент выступает последним.

Указания на явные ошибки следует принимать с благодарностью, по возможности аргументированно отмечая, что они не опровергают резуль-

таты диссертации. При наличии оснований для возражения их следует привести, но в предельно мягкой форме. С «остальными замечаниями» принято соглашаться и обещать учесть их в дальнейшей работе.

В некоторых советах принято включать сводные списки замечаний и ответов на них (наряду с копиями плакатов) в раздаточный материал, предоставляемый членам совета. Это ускоряет процедуру защиты.

8.6.3. Организация защиты

Соискатель должен *лично* озаботиться обеспечением кворума. Необходимо также иметь «оруженосцев» для решения оперативных проблем (дефект магнитофона, нет проектора, не хватает стульев, некому встретить гостей и заняться их документами). Прогон слайдов и электронных презентаций нужно отрепетировать, исключить случаи перепутывания и переворачивания слайдов. В решении перечисленных и смежных проблем ему должен помочь родной коллектив.

8.7. Последняя репетиция

Накануне защиты, как правило, проводится ее репетиция — обычно в аудитории, где будет заседать совет, и с «боевыми» плакатами.

Доклад предпочтительно произносить без микрофона (неприятны резкие перепады громкости и свист). При репетиции необходим эффект присутствия. Члены совета обычно «моделируются» с помощью научного руководителя, заведующего кафедрой и двух-трех работающих на ней ветеранов науки. Вопросы на репетиции задаются в «советском» стиле: концептуального уровня, для проверки эрудиции и математической культуры соискателя и выявления элементов новизны. По итогам репетиции типичны следующие замечания:

- результаты не соответствуют перечню поставленных задач;
- неудачный состав плакатов (слабо отражен полезный эффект); на них имеются опечатки и ошибки; не выделен личный вклад соискателя;
- неправильный расчет времени; излишне подробные пояснения у одних плакатов и непомерно сжатые — у других;
- недостаточная громкость доклада, плохая дикция, неестественная жестикуляция;

- дрожит рука с лазерной указкой, слишком кратковременны засветки;
- поспешные ответы на вопросы.

Наибольшие затруднения вызывают почти обязательные вопросы об ограничениях и недостатках предлагаемых соискателем решений. Это хороший тест на его научную зрелость и серьезность традиционно декларируемых намерений продолжить научную работу после защиты диссертации.

8.8. Защита

К сожалению настоящих ученых, в современных условиях можно «заказать» научную часть диссертации. Но *квалификацию* не закажешь. ВАК считает [103] первоочередной задачей диссертационных и экспертных советов проверить именно квалификацию кандидата в ученые.

Глубоко ошибочна точка зрения [22, с. 138], что диссертационный совет — «счастливая гавань для корабля соискателя». Возможность потерять ход, сесть на мель или напороться на камни сохраняется до последнего момента защиты. Созревший для искомой ученой степени и натренированный диссертант вряд ли столкнется с серьезными и неприятными неожиданностями, поскольку слабые работы отсеиваются на этапе предварительной экспертизы. Исключением могут явиться защиты по совокупности работ и «научно обоснованных решений», судьба которых по справедливости определяется компетентностью их авторов. *Всегда* найдутся несколько честно заработавших докторскую степень членов совета, которые захотят проверить эту компетентность.

Заседание совета правомочно при наличии на защите не менее 2/3 от списочного состава совета. Председатель (заместитель председателя) диссертационного совета не может вести заседание совета при рассмотрении диссертации соискателя, научным руководителем или консультантом которого он является. Соискатель, защищающий диссертацию в совете, членом которого он состоит, не участвует в голосовании по итогам своей защиты и в списочном составе совета на данном заседании не учитывается.

В докторской защите необходимо участие не менее пяти (по кандидатской — трех) докторов наук по каждой из специальностей диссертации. Защита возможна в отсутствие одного оппонента, от которого получен положительный отзыв. Решение считается положительным, если «за» проголосовало не менее 2/3 от присутствующих членов совета.

Главное для соискателя в этот высокоторжественный день — ясная голова и спокойное состояние. Поэтому соискатель в день защиты должен (если сможет) хорошо выспаться и не иметь лишних хлопот.

Одежда соискателя должна свидетельствовать об уважении к совету — быть аккуратной и в меру праздничной. Изобилие наград и значков может быть подсознательно воспринято как попытка оказать давление[5], поэтому для военных рекомендуется более скромная парадно-выходная форма. Для гражданских лиц неприемлемы малиновый пиджак, легкомысленный галстук, «златая цепь на дубе том». Для женщины «синие чулки» (в фигуральном смысле) не обязательны; она может оставаться *Женщиной*, но совет должен чувствовать, что она рассчитывает не только на его снисходительность и свое личное обаяние.

Не следует создавать с самого начала атмосферу триумфа соискателя. Отрицательные решения совет принимает очень редко, но к его праву сделать это надо относиться с уважением.

На *доклад* по кандидатской диссертации обычно отводится до 20 минут (за это время можно «озвучить» 8 страниц машинописного текста через 2 интервала), по докторской — до получаса.

Начинать доклад (как и диссертацию) надо с констатации некоторого неблагополучия, обязательно упомянув ключевое слово в названии работы, определяющее специальность защиты. Не затягивайте введение и обоснование актуальности — иначе не останется времени на результаты. Не следует поименно перечислять членов совета, внесших вклад в решение проблемы: достаточно ссылок в тексте работы.

Совет должен *понять и оценить* ваш вклад в науку: поэтому в ваших интересах изложить сущность работы как можно проще. Попытки удивить физико-математическими сложностями будут расцениваться как маскировка ее бессодержательности и вызовут только раздражение членов совета.

Используемые методы (исключая случаи, когда они новы или неожиданно применены) нужно лишь упоминать. Обязательно четкое разделение своих и чужих результатов. Имейте в виду, что *история* их получения совету не интересна.

При наличии значительного количества положительных отзывов на диссертацию или автореферат ученый секретарь с согласия членов совета вместо оглашения делает их обзор с указанием отмеченных в них замечаний. Отрицательные отзывы зачитываются полностью.

---

[5]Для примера сошлемся на опыт Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского, несколько поколений курсантов которой перед экзаменом по математике у проф. С. М. Лозинского свинчивали предмет своей гордости — спортивные значки.

Относительно поведения соискателя в ходе *дискуссии* мы вновь сошлемся на разд. 3.6. Подчеркнем, что у большинства членов совета впечатление о вас и о диссертации формируется именно в процессе защиты. Состоявшегося доктора наук от не-доктора легко отличить *по его речи*, отражающей общую культуру, концептуальность мышления, широту кругозора, математическую эрудицию и т. п. Именно этим критерием подсознательно руководствуются члены докторских диссертационных советов, не являющиеся специалистами по профилю работы.

Ход защиты определяет «презумпция диссертабельности»: члены совета по опыту прежних лет знают, что плохие диссертации до защиты не доходят, априорно настроены доброжелательно, и сохранение этой настройки зависит только от соискателя.

При ответах на вопросы надо стараться уловить смысл и причину претензии и постараться вежливо снять последнюю. Отвечайте именно на поставленный вопрос. Не ввязывайтесь в дискуссию о терминах и определениях. Обозначьте готовность согласиться с задающим вопрос. При затруднении с ответом честно сознайтесь в ошибке или ограниченной компетентности, но не пытайтесь выкрутиться: завязнете еще глубже. Замечания типа указаний на недоработки или дополнительные проблемы обещайте учесть в дальнейшем.

Ответы на вопросы, замечания по авторефератам, замечания оппонентов выслушиваются гораздо более внимательно, чем доклад. Члены совета сами писали десятки отзывов и хорошо улавливают оттенки. Например, формулировка «Диссертация может быть представлена к защите» по существу означает отрицательное заключение.

Нельзя перегибать с *режиссурой* заседания. Согласно Положению, «защита должна носить характер научной дискуссии и проходить в обстановке высокой требовательности, принципиальности и соблюдения научной этики; при этом обстоятельному анализу должны подвергаться достоверность и обоснованность всех выводов и рекомендаций научного и практического характера, содержащихся в диссертации». Диссертант должен защищаться *сам*. Слишком мощная группа поддержки, стандартные хвалебные выступления без серьезной аргументации и без замечаний могут привести к обратному результату. Ход подобной защиты художественно и достоверно описан в повести «Кафедра» писательницы И. Грековой, хорошо известной научной общественности как профессор Е. С. Вентцель.

В книге акад. Л. И. Седова [218, с. 349] отмечается возможность недобросовестной оппозиции, организованной недоброжелателями и

завистниками диссертанта или его руководителя. Цитировать эту страницу не хочется, но не предупредить — нельзя.

В *заключительном слове* соискатель благодарит членов совета, официальных оппонентов и других участников дискуссии за проявленное внимание и заверяет, что обязательно учтет их замечания в своей дальнейшей работе. Будет справедливо также поблагодарить научного руководителя, консультантов и взрастивший диссертанта коллектив.

При положительном результате голосования по присуждению ученой степени диссертационный совет открытым голосованием принимает Заключение по диссертации, содержание которого рассматривалось в начале данной главы. В нем обязательно указывается, в соответствии с какими требованиями пункта 7 Положения оценивалась диссертация.

Если совет считает, что диссертация, представленная на соискание кандидатской степени, отвечает требованиям к докторской, он раздельным тайным голосованием принимает два решения: о присуждении кандидатской степени и о ходатайстве перед ВАК относительно разрешения представить ту же диссертацию на докторскую. Повторно рефераты не рассылаются, но дается объявление в Бюллетень ВАК.

8.9. Трудности

Здесь мы рассмотрим «патологическое» прохождение работы. Совет не имеет права принять работу к защите в случае:

- несоответствия ее разрешенным совету специальностям;
- недостаточно полной публикации результатов к моменту защиты;
- недостаточной ее значимости для науки и практики (для работ, представляемых в форме научного доклада).

Соискатель должен устранить причину отказа (по первому пункту — организовать ходатайство о разовой защите с привлечением дополнительных специалистов, если речь идет о стыке наук).

Следующей неприятностью для соискателя могут быть отрицательные отзывы. По желанию соискателя совет должен назначить защиту и при отрицательных отзывах и заключениях, однако проявлять такое желание не стоит. Работа, защищенная при отрицательных отзывах, наверняка будет направлена на дополнительную сугубую экспертизу.

Содержание и тон выступлений официальных и в особенности неофициальных оппонентов могут дать основания для неблагоприятно-

го прогноза. Соискатель вправе снять работу с защиты по письменному заявлению, поданному *до начала тайного голосования*. Тогда материалы дела в ВАК не направляются, и он по готовности сможет снова защищать доработанную диссертацию.

Высшая аттестационная комиссия контролирует кандидатские диссертации выборочно. Если при рассмотрении дела в ВАК возникают сомнения, оно направляется рецензенту. Отрицательный отзыв или отзыв с серьезными замечаниями высылается соискателю, и он приглашается на заседание экспертного совета. До начала заседания соискатель должен представить в ВАК краткие и убедительные ответы на замечания. Причиной вызова на экспертный совет обычно является отсутствие в диссертации и *заключении диссертационного совета* аргументированных ответов на стандартные вопросы: классификация (предположим, решение крупной проблемы), в чем проблема состоит, результаты решения, их теоретическая и практическая ценность, новизна и достоверность.

В Бюллетене ВАК № 5, 2005 г., перечислены и основания для отклонения диссертации по ее *существу*: непродуманная тема, неудачное название, отсутствие новизны, незавершенность работы, ее описательность, низкий научный и методический уровень, математические ошибки, необоснованность научных положений и выводов. Основанием для отклонения диссертации могут быть и процедурные дефекты: неудачный подбор оппонентов и неудовлетворительное качество рассмотрения диссертации (в Бюллетенях ВАК №3 за 2005 и 2006 гг. допустившим такое советам объявлены замечания). Руководитель диссертационного совета по приглашению экспертного совета Высшей аттестационной комиссии обязан присутствовать на заседаниях, где рассматривается защищенная в его совете диссертация, давать устные и письменные пояснения по возникающим вопросам и представлять необходимые дополнительные материалы.

При поступлении диссертации, направленной Высшей аттестационной комиссией на дополнительное заключение, диссертационный совет создает из своих членов комиссию для ознакомления с диссертацией; материалами аттестационного дела соискателя; оценки критических замечаний, высказанных на предыдущих этапах экспертизы, и представления совету проекта дополнительного заключения по диссертации. Направленная на дополнительное заключение диссертация вместе с аттестационным делом рассматривается диссертационным советом в течение двух месяцев с момента поступления. В случае отказа по результатам голосования, а также при отклонении работы экспертным советом, повторная

защита может быть назначена не ранее чем через год. Разрешение ВАК на нее не требуется. При повторной защите меняются ведущая организация и весь состав официальных оппонентов.

Соискателю, уличенному в плагиате на любом этапе прохождения работы, придется писать новую диссертацию.

На решение диссертационного совета по вопросам присуждения, лишения (восстановления) ученых степеней организация, соискатель или другое лицо могут подать апелляцию в диссертационный совет по месту защиты диссертации и в Министерство образования и науки Российской Федерации. Апелляция подается по вопросам обоснованности принятия диссертационным советом решения о присуждении, лишении (восстановлении) ученых степеней, а также по вопросам нарушения порядка защиты диссертации, тайного голосования или работы счетной комиссии.

8.10. После защиты

«Ученую степень человек всегда получает незаслуженно и в течение трех-пяти лет должен упорно трудиться, чтобы действительно достичь мастерства. Повторяйте себе эту фразу каждый раз, как вам захочется сказать кому-нибудь, что вы — кандидат наук» [135, с. 148].

Сразу после защиты соискатель может радоваться, но должен:

- помнить, что это не только его праздник;
- «извлечь квадратный корень» из услышанных комплиментов.

Со следующего дня его ждут тягостные, но необходимые хлопоты по оформлению диссертационного дела. Они должны быть завершены в месячный срок.

Позже соискатель должен понять, что помощь руководителя, поддержка кафедры и благосклонность совета — это *аванс*, который порядочный человек обязан отработать на своем трудовом посту. В частности, он должен сдержать данное им публично обещание относительно «дальнейшей работы». Об этом приходится писать потому, что некоторые молодые ученые после защиты вообще ставят крест на научной деятельности, а иные норовят сбежать в более «хлебные» места. В этом контексте хочется отдельно обратиться к «новопоставленным» *докторам наук*.

1. Не следует путать профессиональный рост и служебную карьеру: первый вид прогресса личности ограничен только ее способностями, вызывает меньшее «сопротивление среды», гораздо увлекательнее и к тому же надежнее, поскольку зависит только от вас.

2. Подъем по иерархическим ступеням, как и взлет самолета, нуждается в *горизонтальных* разгонных участках.

3. Повышать научную квалификацию и использовать ее в учебном процессе (а это высшая радость для ученого) легче в том коллективе, где вы ее приобрели. Перейдя в другой, вы будете отброшены назад из-за необходимости переквалификации, а при назначении заведующим кафедрой иного профиля собьете ее с толку. Автору хорошо запомнились непосредственно коснувшиеся его перекос кафедры вычислительной техники в сторону надежности и попытка своротить кафедру математического обеспечения ЭВМ на теорию автоматического управления.

4. Научный консультант и заведующий вашей кафедрой сделали для вас так много отчасти в надежде, что вы после защиты примете на себя часть их забот по выполнению НИР, постановке новых учебных дисциплин и воспитанию аспирантов. Оправдывать эти надежды в течение разумного срока (хотя бы тех же трех лет) — ваш моральный долг.

Глава 9

Научная автобиография

Путь к истине и в науку извилист, полон противоречий и лишь в статьях и книгах выглядит прямым. Обычные публикации оставляют ощущение «спрятанной лестницы». Ошибки бывают даже более поучительными, чем достижения, но молодежь повторяет их снова и снова. В их профилактике и заключается педагогическая ценность «самоотчетов» ученых для воспитания молодого поколения. К сожалению, в подавляющем большинстве учебников содержание науки излагается «с ретроспективной мудростью». Лишь немногие ученые (Коперник, Фарадей, Герц) вели дневники, записи которых вводят в их творческую лабораторию. По Сенеке [221, VI, 6], «долог путь наставлений, краток и убедителен путь примеров... И Платон, и Аристотель больше почерпнули из нравов Сократа, чем из слов его».

Абстрактные рекомендации убеждают плохо. Поэтому в этой главе будут даны некоторые примеры из научно-исследовательской работы автора. *Автобиография* приводится потому, что делиться можно только *личным* опытом. В этом были убеждены и такие корифеи естествознания, как А. Эйнштейн («Единственный стоящий способ научить чему-нибудь других — это выступать в качестве примера, пусть даже отрицательного, если ничего другого не остается»).

Как таковая она написана от первого лица; в ней акцентированы моменты, породившие рекомендации предыдущих глав (кстати, отслеживание соответствующей семантической сети и именных ссылок будет очень полезным и увлекательным упражнением). Ее *детали* сможет оценить лишь специалист по прикладной теории вероятностей, но подобные ограничения неизбежны при любой предметной области.

По словам Г. Харди [248, с. 87], «всякий, кто занимается апологией своего дела, обнаруживает, что он занимается апологией самого себя». Автор не переоценивает полученные им результаты, но считает обстоятельства выбора проблем, их взаимосвязь, методы и *процесс* решения достаточно типичными и полезными для молодого ученого (может быть, тем более поучительными, чем мельче проблемы — не всякий решится брать пример непосредственно с Гаусса или Колмогорова). Кстати, молодому ученому придется заниматься именно такими проблемами.

9.1. Школьные годы

Жизнь в блокадном Ленинграде не могла не привести к раннему взрослению. Единственной отдушиной были радио, зародившее интерес к хорошей музыке и литературе, и чтение. Последнее автоматически сформировало абсолютную грамотность, так что я еще пятиклассником по поручению учительницы русского языка, перегруженной обязанностями завуча, проверял тетрадки своих товарищей. В шестом классе я, будучи пионервожатым в четвертом, руководил выпускавшим стенгазету будущим знаменитым поэтом А. Кушнером. Таким способом у меня в исторической ретроспективе оказались общие знакомые... с А. А. Ахматовой. Тогда же мне пришлось взамен заболевшей «физички» провести урок физики. Как я теперь понимаю, все это были предзнаменования будущей педагогической карьеры.

Мы часто писали сочинения по литературе, за которые я неизменно получал «5» по русскому языку и «4» — за содержание (к «образам» не было никакого интереса). Пришлось подолгу напитываться классиками литературной критики в районной библиотеке. Это был первый пример сопоставления *разных* точек зрения и аргументации в их поддержку, о необходимости которого школьники (а зачастую и учителя) даже не подозревают.

В девятом классе я впервые *прочитал диссертацию* (Н. Г. Чернышевского — «Об эстетическом отношении искусства к действительности»). Умение писать быстро, много и грамотно окупилось уже на выпускном экзамене: за 6 часов я без единой ошибки написал в двух экземплярах на 22 страницах каждый сочинение «Сталин и Ворошилов на фронте» — по повести А. Н. Толстого «Хлеб».

Преподаватель *французского языка* сумел привить многим из нас любовь к языку и искусству этой замечательной страны. Подаренный

им томик Анатоля Франса открыл мне прелесть отточенности стиля, многознания и умной иронии. При выпуске я читал по-французски почти свободно и в дальнейшем старался держаться на этом уровне.

Запомнился практикум по *химии*, который потребовал аккуратности и настойчивости и показал, как работает теория в хороших руках. Реакция «серебряного зеркала» получилась на экзамене блестяще — в прямом и переносном смысле.

Исключением являлись лишь история и математика. История излагалась как хроники войн — чувствовалось отсутствие *концепции* исторического развития, хотя этого слова я тогда не знал. Интерес к математике я ощущал, но испытывал явную недогрузку и, как правило, делал на уроках задания к следующему дню. Летом после 8-го класса я от скуки за две недели освоил всю математику 9-го. В девятом классе я научился считать на *логарифмической линейке*.

Свободного времени после занятий в школе, баскетбола (команда дважды была чемпионом города) и работы в комсомоле (пять лет в школьном комитете, из них два года секретарем) практически не оставалось. Я научился его ценить, а к «общественной работе» и в особенности к профессионалам в ней, глядя на райкомовских деятелей (см. также фильм «ЧП районного масштаба»), получил стойкое отвращение. Школу я закончил с золотой медалью, но без серьезных «научных» успехов.

9.2. Военно-морское училище

Давно расформированное Высшее военно-морское училище инженеров оружия создавалось по личной инициативе и при активном содействии тогдашнего Главкома ВМФ — Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, человека твердых принципов и государственного ума. Программа обучения немногим уступала академической.

Из-за молодости училища преподавание было очень неровным. Запомнились курс теории автоматического управления, который читался с многочисленными ссылками на впервые поставившего его начальника кафедры Ленинградской Краснознаменной военно-воздушной инженерной академии имени А. Ф. Можайского (ЛКВВИА) проф. Е. П. Попова, и теория вероятностей. По поводу последней хочется процитировать Е. С. Вентцель [179, с. 93]: «Теория вероятностей — это не наука, а мировоззрение. Когда человек по-настоящему овладевает вероятностны-

ми методами, у него формируется особый подход к действительности, особая точка зрения на все происходящее»[1].

Один из преподавателей часто говаривал: «Не нужно быть Эйлером, чтобы ...»[2].

Аббревиатуру НОК (научное общество курсантов) мы расшифровывали как давнюю мечту — «Новые Одноярусные Койки», однако я все же удостоился премии за реферат по методу гармонического баланса.

Я благодарен училищу не столько за полученные знания, сколько за школу жизни, обретенных в нем друзей и необходимость выучить — в основном самостоятельно — английский язык. В училище была прекрасная художественная библиотека. Поработав с каталогом, я стал читать *по системе*, заполняя пробелы в образовании (зарубежную классику и поэзию «Серебряного века»). Со временем удалось почувствовать, что главное в литературе (вопреки тогдашней школьной парадигме) — не *что*, а *как*. Будучи на пятом курсе, я открыл для себя *японскую* классическую поэзию.

Поскольку мы должны были стать первым выпуском инженерного факультета училища (уже севастопольского — им. П. С. Нахимова) и к дипломному проектированию оказывались на полном «безрыбье», преддипломная практика была организована в Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А. Н. Крылова (ВМАКВ). По дороге (в Москве) удалось посетить оставившую неизгладимое впечатление выставку японской гравюры.

Тема дипломной работы определялась специальностью («Системы управления реактивного оружия», которое тогда было весьма примитивным и существовало в единичных экземплярах) и уже сформировавшимся интересом к вероятностным задачам. Наиболее заманчивым объектом поражения, естественно, оказались авианосцы «вероятного противника»; система самонаведения из соображений помехоустойчивости напрашивалась тепловая — следовательно, в качестве точки наводки принимался срез дымовой трубы. Последняя у авианосцев резко смещена к борту. Это обстоятельство определило существенную и асимметричную зависимость вероятности попадания в корабль от курсового угла атаки.

Постановка этой задачи была признана новой и исследовательской (разумеется, на студенческом уровне), а расчет упомянутой вероятно-

[1]Сама Е. С. Вентцель в ответ на вопрос внука, как появляются дети, ответила: «Чисто случайно!»

[2]Я. И. Френкель придерживался другого педагогического стиля. Он говорил своему сыну: «Почему не выводишь формулу? Ньютон же мог!» [53, с. 257].

сти, выполненный с помощью логарифмической линейки (перефразируя Киплинга — «Мой мальчик, пожалуйста, не забудь о линейке!») и таблиц функции Лапласа, был опубликован в 1958 г. в Сборнике трудов училища. На линейке же я в процессе выбора передаточных чисел автопилота вычислял корни полиномиальных уравнений — об ЭВМ и программировании мы тогда и не слыхивали. Говорят, что через год или два после нашего выпуска заместитель начальника училища по учебной работе правильно оценил ситуацию и, оставшись за начальника, распорядился купить машину. Вернувшийся из отпуска флотоводец жестоко его выдрал: «Лето настает, шлюпки не крашены, а он ... он ... !»

Перед выпуском я случайно прочел в аттестации одного из моих друзей изумительную формулировку: «*В разговоре с начальством излишне правдив, что иногда звучит как грубость*». Я взял ее себе за жизненное правило, и *стратегически* это окупилось.

Последний раз пройдясь по книжным магазинам Севастополя, я приобрел только что вышедший перевод книги Ф. М. Морза и Д. Е. Кимбелла «Методы исследования операций», изданный по инициативе и под редакцией инженер-адмирала академика А. И. Берга.

9.3. Научно-исследовательский институт

Вскоре после выпуска мне опять пришлось заняться стрельбовыми задачами. Задание было связано с расчетом вероятностей поражения точечных целей при круговых зонах воздействия. Эти вероятности подсчитываются по формуле [233, с. 32–34]

$$p = 1 - \exp(-R^2/2\sigma^2),$$

где σ — среднеквадратическое отклонение точки взрыва от точки прицеливания. Радиус поражения $R = k\sqrt[3]{q}$ определялся прочностью цели k и мощностью взрыва q. Приходилось рассчитывать, а затем чертить графики зависимости радиуса поражения от мощности взрыва (в логарифмическом масштабе все они были прямыми линиями). Через несколько месяцев командование получило свирепый нагоняй из Москвы за примитивность идеи и медленную работу.

На устранение возникшего противоречия были брошены лучшие умы. Я предложил вместо изготовления графиков пересадить кубическую шкалу *логарифмической линейки* на ее движок, а на обратную сторону линейки поместить таблицу начальных установок движка для

типовых целей и заряда единичной мощности. Эта идея произвела сенсацию, а автор из прикомандированного младшего инженера превратился в штатного научного сотрудника престижного НИИ — для лейтенанта с полугодовым офицерским стажем назначение более чем почетное.

Линейка (с дополнительными возможностями вероятностных расчетов) была заказана на фабрике тиражом в 200 экземпляров. Потребовалось печатное «Руководство» к ней, которое я писал вместе с моим непосредственным начальником — капитаном 2 ранга С. В. Сахарновым (по совместительству известным детским писателем-маринистом). Он дал мне мастер-класс по литературной отделке рукописи и научил держать корректуру.

Кстати, на линейке мне удалось сделать и второй «вклад в науку». Вычерчивание графиков постоянно требовало масштабирования логарифмических шкал. Устав от пересчетов, я нарисовал на ватмане равнобедренный прямоугольный треугольник, на одном катете которого была 25-сантиметровая логарифмическая шкала, скопированная с линейки, а на другом — равномерная шкала. Точки деления логарифмической шкалы соединялись с противолежащей вершиной. Теперь можно было перенести их на полоску бумаги для любой заданной длины шкалы, выбранной по катету с равномерной оцифровкой.

Решая задачу выбора точки прицеливания при стрельбе по групповой цели, я пришел к необходимости построения вспомогательной кривой четвертого порядка, которую ехидные коллеги окрестили «рыжоидой», и приступил к проектированию инструмента для ее вычерчивания. До его изготовления дело не дошло: при повторном анализе математической стороны вопроса «рыжоида» оказалась ... обыкновенной окружностью, заданной переусложненным образом и в противоестественной системе координат.

Сопровождая начальника отдела, я посетил недавно созданный в Петергофе Вычислительный центр ВМФ и увидел тогдашнее чудо техники — «Урал-1» (100 операций в секунду). Позабавил раздел выставки «Устройства размножения», где демонстрировались потасканная дама с чернобуркой и пишущей машинкой и бывалый мичман — с магнитофоном. Однако перспективность машинных вычислений была очевидной, и я с интересом проработал первый отечественный учебник (А. И. Китова и Н. А. Криницкого) по ЭВМ и программированию. Кстати, в лаборатории отдела один энтузиаст три года за государственный счет работал над самодельной *двухразрядной* вычислительной машиной.

Вскоре после упомянутой экскурсии один из моих старших коллег некритически воспользовался представившейся ему возможностью заказать машинный расчет таблиц. Через полгода был доставлен объемистый мешок, доверху набитый исписанными девичьим почерком блокнотиками. Мешок развязали, ахнули, завязали снова и через месяц ... сожгли.

Последней из достойных упоминания проблем этого этапа биографии был расчет определенных интегралов от функции Лапласа. Я две недели считал эти интегралы по формуле Симпсона, и меня распирало от сознания сложности проблемы: надо же, интегрирую функцию, которая сама является неберущимся интегралом! Лишь через год я обнаружил, что интегрирование по частям сводит задачу к банальной экспоненте и упомянутой функции Лапласа. Тогда, наконец, я понял, что математику надо знать лучше и *уметь ею пользоваться*. Воистину, «убедившись в том, что о многом ты не имеешь никакого понятия, подивись своему невежеству и тем смиришь свое мудрование. А познав свое ничтожество, познаешь многие великие и дивные вещи» (св. Максим Исповедник).

В ту же пору случилось ознакомиться с докторской диссертацией отставного флагманского минера. Проблемой была защита погруженной подводной лодки от воздушных патрулей, а средством ее решения — «мина-ракета». Почуяв (чем?) преследование, лодка выпускала мину; та всплывала, крышка откидывалась, из мины высовывалась ракета «море—воздух» и сбивала самолет. Ракету предлагалось снабдить *одновременно* тепловым, радиолокационным и телевизионным устройствами наведения (а тогда еще и полупроводников толком не было, и объем телевизора приближался к кубометру). Далее следовала сноска: «Все это легко может быть сделано на базе кибернетики». Какое простое и изящное решение вопроса! Диссертация про миноракету была успешно защищена — в Военно-морской академии. Тут я понял, что не боги горшки обжигают.

В 1959 г. скончался начальник моего отдела капитан 1 ранга П. Б. Стасов. На похороны приехала его тетушка Е. Д. Стасова, многие годы работавшая секретарем В. И. Ленина. Следовательно, я могу считать, что у меня были общие знакомые и с Ильичом.

Начальник института инженер-вице-адмирал проф. Ю. С. Яковлев был первым крупным ученым, которого я мог наблюдать вблизи. По образованию он был потомственным кораблестроителем и в свои курсантские (предвоенные) годы вместе с отцом бывал на квартире у акад.

А. Н. Крылова — крупнейшего теоретика и практика кораблестроения, впервые в мире прочитавшего курс приближенных вычислений. Поражали нетипичная для адмирала увлеченность Ю. С. наукой; блестящее знание математики и умение ее применять; целеустремленность и организованность; предельная четкость формулировок; культура речи; справедливая (всегда по делу) жесткость оценок («Это Эйлеру было известно!», «Ваша фамилия — Ньютон?» [106]). Кстати, он давал такие оценки не только младшим научным сотрудникам. Автору случайно довелось ознакомиться с написанной Ю. С. (тогда — капитаном 1 ранга) аттестацией на консультанта института генерал-лейтенанта медицинской службы акад. К. М. Быкова, сыгравшего в отечественной физиологии ту же зловещую роль, что Т. Д. Лысенко — в биологии (см. «СПб. Ведомости», 12.07.2005). Аттестация воспринималась как диагноз психиатра («маразм») и заканчивалась категорической рекомендацией: уволить в отставку.

Однажды на партийном собрании, где по тогдашним «правилам игры» отчитывались и ныли опять не уложившиеся в срок соискатели ученой степени, Ю. С. не выдержал и заявил: «Я вообще не вижу здесь проблемы. Если бы меня по понедельникам запирали в кабинете и отключали телефон, я бы каждую пятницу выходил оттуда с диссертацией». *Теперь* (пятьдесят лет спустя) я солидарен с этой оценкой трудоемкости[3] теоретической части кандидатской диссертации (ограничиться одной теорией не удается). *Тогда* я был потрясен, и очень захотелось уподобиться Ю. С. хоть отчасти. Кстати, с первых моих начальников можно было брать пример не только в профессиональном смысле. Ю. С. Яковлев хорошо знал и ценил поэзию и музыку, играл на институтском вечере «Лунную сонату» Бетховена и позднее завещал институту свою библиотеку и кабинетный рояль, по легенде некогда принадлежавший Герингу. Начальник моего отдела (тактического!) Герой Советского Союза Л. Л. Новоспасский имел физико-математическое образование, тоже был эрудитом и мастером хлестких формулировок, играл на виолончели.

Под впечатлением высказывания Ю. С. о кандидатских диссертациях и истории с «мино-ракетой» я решил тоже пойти в науку и подал заявление в аспирантуру (по-военному — в адъюнктуру) ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского по специальности «ЭВМ и их применение в войсках». Вступительный реферат было предложено написать на тему «Исследование операций в ВМС капиталистических государств». Основным источником оказался журнал *Naval Research Logistics Quarterly*.

[3]Для профессора.

9.4. Аспирантура

После сдачи в 1962 г. вступительных экзаменов я прослушал в Центральном лектории цикл лекций по этому направлению (линейное и динамическое программирование, теория игр, массовое обслуживание). На последнюю из объявленных лекций (*управление запасами*) я не пошел: тема не обещала ничего интересного, но запомнилась. К тому же, она часто затрагивалась в вышеупомянутом журнале.

Моим научным руководителем стал первоклассный математик — д-р физ.-мат. наук проф. Х. Л. Смолицкий. Поначалу часто случалось, что, выслушав мою очередную декларацию, он грустно улыбался и говорил: «Я не вижу здесь задачи». Потом взаимодействие с ним стало более плодотворным. Восхищали быстрота его проникновения в проблему, богатейший арсенал методов, любовь к математике во всех ее видах и приложениях. Как иллюстрацию к последнему тезису отмечу, что тридцать пять лет спустя, на 85-м году жизни, он приобрел себе персональный компьютер, активно на нем работал, а на 88-м с моей подачи увлекся тестированием математических пакетов. Вычислительную математику я осваивал по книге Х. Л. Смолицкого 1960 г. издания, а через 10 лет вместе с ним переписал ее с учетом компьютерных реалий. Этой книгой [225] четверть века пользовались курсанты академии, а также студенты ЛЭТИ и Педагогического университета им. Герцена. Я был счастлив, когда на 90-летии Хаима Львовича к ней проявила интерес самая умная женщина России — классик математической физики академик РАН О. А. Ладыженская. Светлая память им обоим!

Итоги моего собственного 50-летнего опыта программирования и вычислений я подвел в посвященной Х. Л. Смолицкому книге [213].

В смутный период выбора темы диссертации опять же из Москвы, но от нового начальства, поступила команда оценить перспективы автоматизации у него, начальства, всего, что можно. Кафедре досталось управление снабжением войск общепромышленным оборудованием, которое и было переадресовано новому адъюнкту. Знакомство с состоянием вопроса у основного «держателя акций» (Военной академии тыла и транспорта) показало, что ни о каких оптимальных задачах там не слыхивали. И тут я вспомнил, что существует теория *управления запасами*: расчет такой организации снабжения, при которой минимальны суммарные затраты на хранение запаса, «штрафы» в случае дефицита и организацию поставок.

В ту пору отечественные работы по теории запасов можно было пересчитать по пальцам одной руки, а зарубежные исчислялись уже сотнями. Кстати, Б. В. Гнеденко отметил ее в числе важнейших за 50 лет новинок прикладной математики [60, с. 40]. По крайней мере треть срока адъюнктуры я провел в библиотеках: Центральной военно-морской, Публичной, Библиотеке АН СССР, а также в московских библиотеках им. В. И. Ленина, ГПНТБ, Иностранной литературы. Работалось в них удивительно, и я был искренне согласен с аббатом Куаньяром:

> «Какая честь и какая услада читать эту уникальную рукопись, чудом извлеченную на свет божий! Ей жажду я посвятить свои дневные труды и ночные бдения. От души жалею я, сын мой, невежд, брошенных бездельем в бездну распутства. Что за жалкую жизнь влачат они! Что в сравнении с александрийским папирусом любая женщина? Сравни, прошу тебя, эту благороднейшую библиотеку с кабачком "Малютка Бахус", а беседу, которой тебя удостаивает бесценная рукопись, с ласками, которые дарят тебе девицы в укромном уголке, и скажи сам, сын мой, где получаем мы истинное наслаждение?»
> (А. Франс).

Кстати, сын Я. И. Френкеля сообщает [53, с. 241], что его отец очень любил А. Франса и многократно перечитывал «Суждения аббата Жерома Куаньяра».

Отмечу, однако, что один из моих коллег нашел в Библиотеке иностранной литературы... жену (точнее, она его), а позже мой адъюнкт перестал посещать БАН из-за того, что «аспирантки мешают». Как тут не вспомнить популярный кинофильм «Москва слезам не верит»!

В работе очень помогло знание языков — английского и французского. Глядя на знакомые формулы, опираясь на аналогии и общематематические термины, я нахально переводил особо нужные тексты еще и с немецкого, польского, чешского, румынского и итальянского. Это вовсе не так трудно, как может показаться. Читатель убедится в этом, переведя с чешского фрагменты из биографии великого китайского художника Ци Бай Ши:

Nocil vodu, pásl buvola.
Ve dvanácti letech malého Čchia ojenili.
Pečetě řesal do poslednich let svého života,

а также несколько отдельных слов: *člověk, velmy, existoval, kompozični schemata, gorolezek, dodatek.*

А вот упражнения на перевод с польского:

Kot obok psa jest bardzo bliski czlowiekowi. Od wiekow zyje z nim pod jednim dachem.

Metody decompozycji w zadaniach optymalizacji systemów transportowych.

Наконец, переведем с итальянского

Sulla modellizzatione matematica del transporto urbano di persone.

Produzione e finanza nell' impresa manageriale: Un modello integrato di stock e flussi.

С болгарским языком проблем не было вообще. Очень легко интерпретируются *Икономико-математически модели и методи за управление на материалните ресурси.* Кроме того, всем известно, что по-болгарски «булка» — это девушка, а «право» означает «прямо».

По ходу знакомства с литературой выявились перспективные новые направления: многономенклатурные задачи в смысле приложений и методы теории массового обслуживания как аппарат расчета систем со случайной задержкой поставок. В первом направлении была проблема сочетания преимуществ одновременного заказа (экономия на организации поставок) с раздельными (минимум платы за хранение избыточного запаса). Родилась красивая идея расчета системы *кратных* периодов снабжения, а на ее основе — полуэвристический алгоритм расчета этих периодов. Теория массового обслуживания (метод Эрланга) была применена к расчету *пороговых* систем, когда поставки начинаются при снижении запаса до критического уровня. Специфика военного дела отразилась в расчете «штрафов» за дефицит через *модели динамики боя* (вычитанные из вышеупомянутой книги Морза и Кимбелла уравнения Ланчестера и предложенные профессором ВМАКВ И. Я. Динером их модификации). При этом удалось подправить И. Я. Динера и использовать накопленный ранее опыт решения стрельбовых задач (см. [208]).

Самым сложным оказалось убедить в пользе предлагаемой теории практиков (для них научное управление запасами «еще не было проблемой»). При попытке получить помощь в сборе необходимых исходных данных я был выставлен из кабинета высокого московского начальника. Через восемь лет он приехал в ЛВИКА с просьбой порешать для него те самые задачи, и его адресовали ко мне. Из-за вынужденной смены к тому времени профиля работы я отказался, но он настаивал:

— Можно написать кандидатскую диссертацию.

— Уже.

— Тогда докторскую.
— Уже.

Программирование я осваивал самостоятельно. В те далекие годы машинное время было чрезвычайно дефицитным и расписывалось между программистами по пятиминуткам, а программы составлялись в кодах ламповой машины М-20 — более того, в *действительных* адресах оперативной памяти на 4000 слов. Это приучало к экономному использованию ресурсов ЭВМ, предварительной подготовке заданий на каждый отладочный выход («*В пять минут можно сделать очень много!*»), скрупулезному и логически непростому анализу листинга — многометровых лент с чистой цифирью. Конец адъюнктуры пришелся уже на эру *Алгола 60*, позволившего, наконец, описывать алгоритмы «по-крупному».

Моя математическая квалификация заметно выросла, и ко мне стали обращаться за консультациями. Один уважаемый профессор, работавший в области синтеза релейно-контактных схем, предложил оценить изобретенный им метод решения полиномиальных уравнений. Метод сразу показался знакомым. Пригляделся к нему, посмотрел литературу — точно: Бернулли, 1732 год.

Другой старший коллега попросил вычитать текст его докторской диссертации. Школьная выучка помогла: я избавил его от 400 грамматических ошибок.

Много времени и нервов отнимало конспектирование первоисточников (классиков марксизма-ленинизма) и газетных материалов. Газетные вырезки я просто вклеивал в тетрадку, изредка перемежая их кратким резюме неинформативного текста. Классиков же за 34 года военной службы пришлось конспектировать по многу раз, и я нашел рациональный ход: завел на каждый том сочинений В. И. Ленина отдельную перфокарту, на которой выписывал название работы, номера тетради и страницы с конспектом. Политработники жаждали «свежих» конспектов, но формально придраться не могли.

С результатами кандидатской диссертации я попал на I Всесоюзную конференцию по технической кибернетике (Ереван, 1964 г.). Неизгладимое впечатление оставили посещение мастерской М. Сарьяна и краткая беседа с 90-летним старцем *планетарного* масштаба мышления, а также концерт Лусинэ Закарян (армянские духовные песнопения).

9.5. Докторская диссертация

После защиты кандидатской диссертации мне было ясно, что и как делать дальше. Прежде всего я доработал и строго доказал алгоритм расчета системы кратных периодов снабжения. Он был опубликован в журнале «Известия АН СССР. Техническая кибернетика» (1966 г.) и с тех пор минимум пять раз переоткрывался за рубежом — обычно в ухудшенных вариантах (см. ссылки в [208]).

В это время стали интенсивно публиковаться работы по расчету немарковских одноканальных систем — с распределением обслуживания, отличным от показательного. Разобравшись по статье Б. А. Севастьянова в методе линейчатых марковских процессов (он же — метод дополнительной переменной), я применил его к серии (вспомним «грибную» аналогию) задач с *произвольно распределенной* задержкой поставок. Полученные за полгода на фоне текущей преподавательской работы результаты позволили с помощью Х. Л. Смолицкого заинтересовать к тому времени уже чл.-корр. АН СССР Е. П. Попова и через него — издательство «Наука». Монография «Управление запасами» (1969 г.) получила положительную оценку рецензента — известного специалиста по математическим методам в экономике проф. Д. Б. Юдина, стала первой отечественной книгой по данному вопросу и составила основу докторской диссертации. К тому времени вышли переводы уже известных мне книг зарубежных авторов, так что убеждать в пользе этой теории никого не пришлось.

Для оформления и защиты диссертации я попросился в полугодовой отпуск. Резолюция начальника кафедры проф. А. М. Половко была краткой: «Во-первых, неизвестно, что из этого выйдет. А во-вторых, она у тебя готова». Тем не менее он охотно помог мне с подбором оппонентов и организацией отзывов.

За месяц до защиты (уже были разосланы авторефераты) меня вызвали в Научно-исследовательский отдел академии и потребовали... план работы над диссертацией. Упустили!!! Я отругивался целый час, но план из двух пунктов («Изготовление плакатов» и «Подготовка доклада») все же пришлось представить.

Первое практическое применение теории запасов нашли мои друзья по горному туризму: четверть века во всех походах я был бессменным завхозом и начпродом. Поэтому к «задаче о рюкзаке» (см. [208]) у меня особое отношение. Запасы рассчитывались воистину оптимально. Однажды после прохождения серьезного перевала натерпевшиеся страха

жены у вечернего костра потребовали чаю с сахаром «от пуза». Общественность пошла им навстречу, но после этого мы три дня пили чай с поливитаминами (и послевкусием рыбьего жира). Интересно отметить, что расчет походного рациона по «правилу правой руки», т. е. не глядя на цену, неизменно приводил к *стоимостному инварианту* — 2.60 руб. в сутки на человека (тогдашняя норма командировочных расходов).

Горный туризм помог соотнести величие вершин с повседневностью; убедил в том, что восхождение дается нечеловеческим трудом, что не каждая вершина и перевал покоряются с первой попытки; приучил дышать разреженным воздухом высот, смотреть на проблемы сверху и видеть их обобщенно. Он сделал наглядными базовые понятия многомерной оптимизации (максимум, седло, овраг, скорейший спуск, возможные направления); убедил в существовании у увлеченного человека колоссальных внутренних ресурсов (суточная калорийность пищи на маршруте вместо рекомендуемых 4500 килокалорий редко превосходила 3000). Наконец, он научил меня отпускать менее опытного компаньона, которому не хватает только уверенности в себе, «на длинную веревку». Это правило я применяю и при научном руководстве аспирантами.

После защиты докторской диссертации я был избран секретарем партбюро кафедры на 1969–1970-й учебный год. На этот год — страшно вспомнить! — пришлось празднование 100-летия вождя, и работать стало совсем невмоготу. Когда же факультетский партайгеноссе Р. В. Корнев пристал с категорическим требованием экстренно изготовить стенд — карту России с лампочками в местах ссылок Ильича, я не выдержал и с трибуны факультетского собрания заявил, что Ленин не учил нас показухе и холуйству. Было сказано: «Пиши объяснительную!» Вместо этого я двое суток просматривал труды Ленина советского периода, выписывая подтверждения своей точки зрения, и обрел неожиданный подарок. В одной из телеграмм Ф. Э. Дзержинскому значилось: «Предлагаю прозевавших это дело чекистов отдать под суд. Строгий выговор объявить *Корневу*». Инициативная работа с нетривиальными первоисточниками окупилась — вопрос был закрыт.

9.6. Свободный поиск

9.6.1. Стартовые условия

В 1972 г. мне было приказано организовать и возглавить кафедру математического обеспечения ЭВМ. Комплектование кафедры прохо-

дило под сильным нажимом сверху, на нее по традиции сбрасывали не самых полезных сотрудников. К примеру, одного старого доцента мне аттестовали как завершающего работу над докторской диссертацией. В ее тексте для числа состояний схемы из n троичных элементов указывалась «*империческая* формула — 3^n ». Диагноз был ясен. Обучить его преподаванию программирования стоило немалых трудов, а вопрос о докторской защите более не поднимался.

Одной из первых акций коллектива стало празднование 60-летия вошедшего в его состав Х. Л. Смолицкого. Юбиляра приветствовали Ленинградское математическое общество, Университет, ЛОМИ; пришло поздравление от его давнего соратника — нобелевского лауреата акад. Л. В. Канторовича. Кафедра подарила своему почетному члену откопанный мною у букинистов четырехтомник избранных сочинений *Л. Эйлера*, изданный в Санкт-Петербурге на латыни в 1842 г.

Освоение моря новых научно-педагогических проблем потребовало колоссальных усилий, но значительно расширило мой кругозор. Было очень интересно разбираться в алгоритмах трансляции. Запомнился описанный в известном отчете А. П. Ершова «Альфа-система автоматизации программирования» способ ускоренного возведения числа в целую степень на основе двоичного разложения показателя. Позже я неоднократно применял эту идею:

- в курсовых проектах по программированию — для возведения в степень квадратных матриц;
- в лекциях по рекурсивному программированию — для решения на Прологе той же задачи (см. разд. 7.8);
- для вычисления многократных сверток распределений в моментах;
- при разнесении начальных установок датчиков случайных чисел для имитационного моделирования (см. материалы Всероссийской конференции ИММОД-2005, т. 1, с. 48).

Еще бóльшие симпатии вызвала теория операционных систем, математические проблемы которой [265] мне были близки и понятны.

9.6.2. Законы сохранения

В проблематику общего математического обеспечения ЭВМ управление запасами абсолютно не вписывалось. Зато массовое обслуживание (оно же — теория очередей) могло сыграть самую существенную роль как

основной аппарат оценки оперативности и производительности вычислительных процессов. Естественно, в читаемом кафедрой курсе «Методы исследования операций» [62] это направление было усилено — в частности, расчетом немарковской системы $M/G/1$ (вывод известной формулы Полячека—Хинчина по Дж. Риордану).

Пришедший ко мне именно на эту лекцию весной 1974 г. начальник факультета проф. А. П. Лысенко подверг ее содержание и форму уничтожающей критике: «Вот вы, Юрий Иванович, толкуете ему (курсанту) про марковские процессы, исписали три доски, а он с тоской глядит в окно и пишет... *мартовские*». Это я понимал и сам — на нетривиальный вывод с необходимыми комментариями под запись уходили четыре часа, и мучительно искал варианты. В этом контексте будет уместна цитата из статьи Б. М. Кедрова в сборнике [157, с. 50]: «Нередки случаи, когда великие открытия[4] делались в процессе систематизации (в частности, написания учебного курса) по данному предмету. Именно при обобщении и систематизации громадного фактического материала, накопленного наукой, выявляются закономерные связи, скрытые внутри фактического материала и выступающие наружу при его теоретической обработке. Так было у Менделеева и Дальтона». Именно так развивалась в дальнейшем и моя научная деятельность.

При очередном посещении Публичной библиотеки во *французском* журнале «*Revue Française d'Automatique, Informatique et de Recherche Opérationnelle*» я обнаружил статью Мартина Краковски о законах сохранения в теории массового обслуживания, которая объединила многие ранее известные формулы и факты и дала им единую интерпретацию с позиции фундаментальных законов сохранения. Это была концепция исключительной красоты и мощи, позволившая поставить вопрос о радикальной перестройке этой теории (см. цитату из французов Бурбаки в разд. 1.4.3) — по крайней мере, ее преподавания. Традиционный метод Эрланга, предложенный почти сто лет назад и, к стыду многих вузов, до сих пор единственно применяемый в учебном процессе, для получения рекуррентного соотношения между вероятностями смежных состояний требует:

- записи исходных конечно-разностных уравнений;
- перегруппировки членов;
- деления обеих частей равенства на Δt;

[4] Извините, но из цитаты слова не выкинешь.

- устремления Δt к нулю и получения дифференциальных уравнений;
- устремления t к бесконечности для перехода к алгебраическим уравнениям относительно стационарных вероятностей состояний;
- сложения первых k уравнений.

С использованием закона *сохранения вероятностей* этот результат получается непосредственно!!!

Проблему перехода от распределения числа заявок к временны́м характеристикам элементарно решает закон *сохранения стационарной очереди* при дисциплине First Come — First Served:

> *распределение числа заявок, прибывших за время ожидания начала обслуживания, совпадает с распределением длины очереди перед прибытием заявки.*

Оказывается, поэтический образ Сасаки Микиро

> ... Голова Очереди
> Держит в зубах прошлое Очереди

(Голоса вещей / Пер. с японского. — М.: Радуга, 1988) имеет четкое математическое содержание!

Приведем поучительную схему расчета распределения времени ожидания заявки в системе $M/G/1$. Запишем *производящую функцию* распределения длины очереди

$$P(z) = \sum_{k=0}^{\infty} z^k p_k.$$

Производящей функции можно придать прямой вероятностный смысл: если считать, что каждая заявка с вероятностью z независимо от остальных обладает некоторым свойством (например, является «красной»), то $P(z)$ есть вероятность иметь все заявки «красными». Она должна совпадать с вероятностью неприбытия «синих» (их поток имеет интенсивность $\lambda(1-z)$) за время ожидания меченой заявки, распределенное с плотностью $w(t)$. Таким образом,

$$P(z) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda(1-z)t} w(t)\, dt.$$

Полагая $\lambda(1-z)=s$, сводим последнее уравнение к

$$P(1-s/\lambda)=\int\limits_0^\infty e^{-st}w(t)\,dt. \tag{9.1}$$

После выражения его левой части через вероятности состояний вложенной цепи Маркова получаем формулу Полячека—Хинчина для ПЛС распределения времени ожидания (правая часть). Нетрудно вывести и моменты этого распределения. Среднее время ожидания на основе закона *сохранения объема работы* получается в две строки [200, 208].

С позиций законов сохранения удалось истолковать множество результатов других авторов (Брюмеля относительно обобщения формулы Литтла на высшие моменты, М. Л. Литвинова — о переходе от вероятностей состояний вложенной цепи Маркова к стационарным вероятностям состояний), расширить область их применения, получить дополнительные следствия. В частности, закон сохранения был записан в *дифференциальной* форме (для стационарных *плотностей* вероятностей) — см. «Кибернетику» АН УССР, № 2 за 1976 г., что позволило радикально упростить выкладки при использовании метода линейчатых марковских процессов. Эти результаты я применил для расчета систем обслуживания с порогом включения, с разогревом, с комбинацией названных свойств [199], а также для компактного расчета систем $GI/E_k/1$ и $E_k/G/1$.

9.6.3. Многочлены Лагерра

Расширение круга систем обслуживания, поддающихся аналитическому расчету, поставило вопрос о влиянии *немарковости* исходных систем, т. е. отличия исходных распределений от показательного, на *числовые* результаты. Ограниченные попытки такого рода я предпринял еще в «Управлении запасами». Нужно было расширить круг задач, считаемых точно. Применение метода вложенных цепей Маркова требовало расчета коэффициентов вида

$$q_j=\int\limits_0^\infty \frac{(\lambda t)^j}{j!}e^{-\lambda t}b(t)\,dt, \qquad j=0,1,\ldots,$$

где $b(t)$ — плотность распределения. Для экспоненциально-степенных распределений эти интегралы берутся явно, что позволило получить в «Управлении запасами» простой рекуррентный алгоритм их вычисления для гамма-плотности — см. формулы (4.1). Однако эта плотность

является двухпараметрической, что при подборе ее по методу моментов обеспечивает выравнивание лишь двух моментов. Подбор гамма-плотности с *поправочным многочленом* позволил снять это ограничение с помощью теории обобщенных ортогональных многочленов Лагерра, дающей явные формулы для коэффициентов многочленов и $\{q_j\}$ [200]. Эта аппроксимация, в частности, при $j = 0$ позволяет вычислять преобразование Лапласа от произвольного распределения по его моментам и обеспечить решение исключительно важных уравнений теории систем с рекуррентным потоком с учетом *произвольного числа моментов* исходного распределения.

С помощью специально написанных программ многократного численного дифференцирования в нуле таблично заданной функции на основе интерполяционных формул Ньютона и Стирлинга (пригодился опыт преподавания вычислительной математики и программирования!) стало возможным выполнить *обращение преобразования Лапласа в моментах* и по найденным моментам построить аппроксимацию плотности. Это позволило разработать численные методы анализа приоритетных систем, расчет которых на уровне высших моментов и тем более распределений обычно не идет дальше преобразований Лапласа.

Оперативность системы обработки информации, как правило, оценивается вероятностью того, что время решения задачи (включая ожидание) превысит директивный срок. Практически это предполагает вычисление дополнительной функции распределения (ДФР) соответствующего распределения. К сожалению, гамма-плотность (тем более с поправочным многочленом) явно не интегрируется, а ряды для неполной гамма-функции сходятся медленно. Позже я решил задачу использованием ДФР распределения Вейбулла с поправочным многочленом. Распределение Вейбулла подбиралось по двум моментам через систему из двух нелинейных уравнений, после чего коэффициенты поправочного многочлена легко определялись из системы линейных уравнений. Стало ясно, что тем же способом можно найти поправочный многочлен и для гамма-плотности. Результаты, естественно, совпадали. Это избавило от преподавания непростой теории ортогональных многочленов Лагерра.

9.6.4. Итерационный расчет фазовых систем

Известные методы теории очередей охватывали весьма ограниченный круг задач. Многие авторы рассматривали как перспективный выход фазовую аппроксимацию распределений интервалов между заявками

и/или длительности обслуживания с показательно распределенной длительностью пребывания в каждой фазе (для того, чтобы эта длительность не зависела от истекшего времени, — «марковское свойство»). Далее предлагалось решать систему линейных алгебраических уравнений относительно вероятностей соответственно «расщепленных» состояний, после чего выполнить их агрегацию.

Подобные системы оказывались чрезвычайно большой (часто — бесконечной) размерности, что практически исключало реальное применение этого подхода. В статье Такахаси и Таками в журнале *японского* общества исследования операций (на английском языке) в 1976 г. был предложен полностью построенный на законах сохранения заявок и вероятностей, но не упоминавший их итерационный алгоритм решения подобных задач в терминах *условных* вероятностей микросостояний. Последнее обстоятельство впервые позволило задать осмысленные начальные приближения и рассчитывать системы с бесконечной длиной очереди.

Метод, однако, был неявно ориентирован на эрланговское обслуживание и простейший поток заявок, в описании алгоритма отсутствовали ключевые детали (способ расчета двух вспомогательных переменных на каждом шаге итерации, выбор хороших начальных приближений). При эрланговом входящем потоке наблюдались случаи расходимости итераций. По этому поводу я попросил совета у Х. Л. Смолицкого. Вникнув в ситуацию, он взял с моего стола канцелярскую линейку и молча покачал ее, держась сначала за конец, а затем за середину. Я сразу понял, что нужно сменить направление прогонки — вести ее от бóльшего количества j заявок в системе к меньшему. Соответственно, начальные приближения оказалось целесообразным определять из предельного случая (большое значение j, когда матрицы интенсивностей переходов перестают зависеть от j), незначительно скорректировались расчетные формулы. Метод был применен и к иным фазовым распределениям интервалов между смежными заявками, а также к фазовым аппроксимациям *обоих* входных распределений — интервалов между заявками и длительности обслуживания. Задач этого вида опять набралась «целая лужайка».

Ключевой проблемой при реализации метода явилось автоматическое формирование упомянутых матриц, без которого программа имела бы очень ограниченную ценность. Простое и эффективное решение было найдено «в корне» проблемы: предварительно сгенерировать упорядоченные последовательности «ключей» микросостояний — кодовых комбинаций, задающих расстановку находящихся в каналах заявок по фазам обслуживания. Далее матрицы интенсивностей переходов между микросостояниями текущего и смежных ярусов диаграммы состояний системы

формировались на основе сопоставления ключей по правилам, специфическим для каждого типа перехода (прибытие заявки, завершение промежуточной или последней фазы обслуживания). Для генерации ключей и формирования матриц были написаны автономные подпрограммы.

Почти сразу обнаружилась возможность по той же схеме рассчитывать многоканальные системы с неоднородным потоком заявок, имеющих показательно распределенные длительности обслуживания с различными параметрами. Позже расчетную схему удалось разработать и для инверсной ситуации — обслуживания однородного потока неоднородными каналами различной производительности.

За 25 лет работы (*после* защиты докторской диссертации) постепенно сформировался пакет программ МОСТ (Массовое Обслуживание, СТационарные задачи), написанный на языке *ПЛ/1* для ЕС ЭВМ в ходе разработки перечисленных выше и многих других методов. Пакет использовался в режиме сборочного программирования (вызов модулей из главной программы) для лабораторных работ по моделированию вычислительных систем, курсового и дипломного проектирования, в диссертационных и иных научных исследованиях, для решения практических задач (прогнозирование характеристик систем обработки спутниковой информации). Опыт вынужденного программирования на машинах типа М-220 с минимальными по современным воззрениям техническими характеристиками отразился в многочисленных приемах оптимизации программ — в частности, в упаковке матриц переходов и в реализации матричных операций над упакованными матрицами разнообразной структуры. Эти программы и их фрагменты применялись при обучении программированию, как богатейшая коллекция тем курсовых и дипломных работ и как источник вдохновения и аналогий для двух десятков диссертантов.

Благодаря единству замысла (и практической единственности исполнителя), системному подходу к проектированию, компактности и гибкости применения пакет МОСТ существенно опередил разработки аналогичного назначения, выполнявшиеся примерно в то же время по постановлению ГКНТ СССР № 550 (проблема 0.80.14, задание 09.10). А это задание выполняли университеты Москвы, Куйбышева, Киева, Минска, Томска, Ташкента; университет им. П. Лумумбы, Ленинградский институт точной механики и оптики, Московский институт электронной техники, Рижский институт инженеров гражданской авиации, Институт кибернетики АН УССР.

Работы по МОСТ'у в декабре 1983 г. докладывались на заседании Научного совета по прикладным проблемам при Президиуме АН СССР. В 1987 г. версия МОСТ'а на языке ПЛ/1 для машин серии ЕС ЭВМ прошла официальное тестирование и была принята в Государственный фонд алгоритмов и программ СССР (г. Таллинн). По справке фонда, уже в 1988 г. она эксплуатировалась более чем в 30 организациях.

9.6.5. Матрично-геометрическая прогрессия

В некоторых случаях, несмотря на вышеупомянутые модификации, метод Такахаси—Таками сходился плохо, и число итераций для достижения разумной точности измерялось *сотнями*. Заметим, что в каждой итерации просчитывались десятки ярусов диаграммы переходов, причем расчет ярусов был далеко не тривиальным. Для решения задач рассматриваемого типа в работе Ивэнса (*Operations Research*, 1967 г.) была предложена идея метода, позже получившего название матрично-геометрической прогрессии (МГП). Здесь векторы-строки вероятностей микросостояний j-го яруса при числе j заявок в системе больше числа каналов обслуживания n подсчитываются согласно

$$p_j = p_{j-1}R,$$

где R — матричный знаменатель упомянутой прогрессии. С точки зрения «философии науки» этот подход является естественным обобщением схемы расчета марковской одноканальной системы на случай *векторных* вероятностей микросостояний каждого яруса.

Знаменатель прогрессии находится из *матричного* квадратного уравнения

$$R^2B - RD + A = 0, \tag{9.2}$$

в котором A, B, D — матрицы интенсивностей переходов разного типа при $j > n$, причем B — особая матрица. Матричное квадратное уравнение — не скалярное, школьной математикой тут не обойдешься. Основная часть трудоемкости метода МГП приходится на его решение. Заметим, что, в отличие от метода Такахаси—Таками, эта трудоемкость и сам факт сходимости не зависят от количества обсчитываемых ярусов.

Решение уравнения (9.2) согласно [90] требует предварительного решения полной проблемы собственных значений для всех входящих в уравнение матриц. Две очевидных итерационных формы его также сходились медленно (требовалось до 300 шагов), метод Ньютона для

системы нелинейных уравнений был невероятно «прожорлив» по памяти. Наконец, я попытался представить уравнение (9.2) в виде

$$(R+\Delta)(R+\Delta)B-(R+\Delta)D+A=0$$

и, пренебрегая квадратом поправки Δ, записать обобщенное матричное уравнение Риккати

$$\Delta(RB-D)+R\Delta B\approx RD-R^2B-A, \tag{9.3}$$

линейное относительно матричной поправки Δ. Но как ее выделить? Ведь матричное умножение не допускает перестановки сомножителей!

Перелопатив в очередной раз классическую книгу Ф. Р. Гантмахера «Теория матриц», я обнаружил в ней простую идею решения матричных уравнений вида $AX+XB=C$ — расписать уравнения этой системы покомпонентно[5]. Вполне можно было додуматься самостоятельно! Обобщение этой идеи на случай (9.3) элементарно; программа была составлена и отлажена за один вечер. Ни в одном из полусотни просчитанных в очень широком диапазоне входных данных примеров не потребовалось более *четырех* шагов уточнения поправки. Это, опять же, вполне естественно: фактически был реализован метод Ньютона, обладающий квадратичной сходимостью.

9.6.6. Гиперэкспоненциальная аппроксимация

Появление в теории очередей возможности расчета многоканальных немарковских систем было настоящим прорывом. Однако эрланговское распределение E_k в связи с требованием целочисленности одного из параметров позволяло выравнивать только первый момент и приближенно — второй, причем разница в результатах расчета при порядках распределения $k=1,2,3$ была весьма значительной. И тут я вспомнил о результатах своего коллеги — специалиста по теории надежности В. А. Смагина. Он пользовался предложенной еще в 1955 г. Д. Коксом *гиперэкспоненциальной* аппроксимацией, т. е. представлением плотности распределения в виде взвешенной суммы показательных законов:

$$b(t)=\sum_{i=1}^{k} y_i\mu_i e^{-\mu_i t}. \tag{9.4}$$

Это распределение для $k=2$ позволяло выравнивать три момента и подбиралось сравнительно легко, но могло приводить к *комплексным*

[5] См. также «Введение в теорию матриц» Р. Беллмана.

параметрам аппроксимации. Теперь это считается естественным: раз аппроксимации подобного типа вводят *фиктивные* фазы, почему бы вероятностям последних не быть комплексными? Однако в семидесятые годы такая идея казалась завиральной слишком многим, и В. А. Смагину пришлось защищать свою докторскую диссертацию дважды.

Поскольку гиперэкспоненциальную плотность можно интерпретировать как плотность распределения обслуживания заявок неоднородного потока с вероятностями выбора заявок i-го типа $\{y_i\}$ и интенсивностями обслуживания $\{\mu_i\}$, в ранее составленной программе расчета обслуживания неоднородных заявок оказалось достаточно заменить вещественный тип некоторых объявленных переменных на комплексный. Однако попытка решения с ее помощью ранее обсчитанной контрольной задачи с E_2-распределением обслуживания привела к авосту. Исследование алгоритма подбора H_2-аппроксимации для гамма-распределения (7.1) показало, что $\alpha = 1$ и $\alpha = 2$ являются особыми случаями[6], причем для $\alpha < 1$ параметры оказываются действительными, для $\alpha > 2$ — комплексными. В случае $1 < \alpha < 2$ параметры действительные, но одна из «вероятностей» $\{y_i\}$ отрицательна, а вторая больше единицы.

Конечные результаты расчетов всегда были вполне осмысленными. Однако существование особых случаев вынудило отказаться от идеи полной замены эрланговской аппроксимации гиперэкспонентой и включить в набор процедур расчета «фазовых» многоканальных систем все комбинации различных аппроксимаций этого класса (прежде всего, разумеется, показательную). Так была обнаружена еще одна «грибная лужайка». Эти процедуры тестировались совместно на задачах, попадающих «в компетенцию» нескольких процедур; всякий раз обнаруживалось хорошее согласие (см. с. 222). Для публикации этих результатов в журнале «Программирование» (1986, № 1) пришлось задним числом сочинить теорию тестирования функционально избыточных пакетов программ.

Все процедуры с H_k-аппроксимациями были с самого начала предусмотрительно запрограммированы на гиперэкспоненты с произвольным числом составляющих. Для расчета параметров аппроксимации при $k > 2$ удалось применить изящную расчетную схему, описанную в «Численных методах» Р. В. Хэмминга. «Особенности» остались, но два десятка самых сложных процедур пакета переделывать не пришлось.

Гиперэкспоненциальная аппроксимация получила много других замечательных применений. В частности, с ее помощью удалось существенно упростить расчет приоритетной системы, в которой прерванная

[6]Последовательную систему фаз нельзя свести к параллельной.

заявка обслуживается заново с прежней реализацией случайной длительности обслуживания (дисциплина RW — см. известную книгу Конвея, Максвелла и Миллера «Теория расписаний»). Первоначальный вариант этой процедуры в связи с необходимостью расчета узлов и весов квадратурной формулы Чебышева—Лагерра для интегрирования по полуоси включал в себя чуть ли не весь арсенал задач вычислительной математики. Теперь трудоемкость счета уменьшилась на два порядка.

9.6.7. Сети обслуживания

Реальные процессы обслуживания в большинстве случаев состоят из специализированных этапов, так что заявки вынуждены «мучиться» в *сетях обслуживания*. Точные методы расчета сетей чрезвычайно громоздки и применимы лишь к весьма узкому классу так называемых мультипликативных сетей — см. известную теорему ВСМР. Практически приходится проводить *потокоэквивалентную декомпозицию* сети, после которой узлы рассчитываются независимо; агрегация сети выполняется только на заключительном этапе — при расчете распределения времени пребывания заявки в ней.

Известно, что все основные характеристики системы обслуживания самым существенным образом зависят не только от среднего интервала между входящими заявками, но и от вида распределения (высших моментов его). Потоки в сетях подвергаются преобразованиям трех видов:

- просеивание (при распределении обслуженных заявок по очередным узлам);
- суммирование (на входе узлов);
- преобразование в узле (меняется распределение интервалов между заявками при сохранении среднего значения).

Из этих преобразований только первое имело развитую теорию, а для остальных предлагались эмпирические формулы. Пришлось разработать их теорию и алгоритмы. Здесь мы расскажем о суммировании.

Сумма n потоков может быть найдена последовательно или по схеме двоичного дерева; поэтому задача сводится к суммированию двух потоков. ДФР распределения интервалов между заявками суммарного потока ранее предлагалось считать по формуле вида

$$\bar{F}(t) = \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t), \tag{9.5}$$

которая подразумевает отсчет времени для заявок обоих типов с момента прибытия предыдущей заявки. Но ведь она принадлежала к одному из типов, а отсчет для другого должен вестись с момента прибытия последней заявки этого типа, т. е. для нее в формуле (9.5) должно фигурировать соответствующее *остаточное* распределение $\Phi(t)$, хорошо известное из теории восстановления (Д. Кокс). Относительная частота ситуаций, когда для выбранного типа заявок берется основное распределение, равна доле заявок этого типа в суммарном потоке. Итак, формулу (9.5) следует заменить на

$$\bar{F}(t) = \frac{\lambda_1}{\Lambda}\bar{F}_1(t)\bar{\Phi}_2(t) + \frac{\lambda_2}{\Lambda}\bar{F}_2(t)\bar{\Phi}_1(t). \tag{9.6}$$

ДФР для гиперэкспоненциальных составляющих считаются элементарно. Известно, что начальный момент

$$f_k = \int\limits_0^\infty t^{k-1}\bar{F}(t)\,dt.$$

Отсюда легко получаются формулы для моментов распределения между заявками суммарного потока. Достойно изумления, что в мировой литературе для решения этой задачи даже на уровне *двух* моментов по сию пору используются эмпирические аппроксимации.

Хорошо известны *предельные теоремы* о суммировании и случайном прореживании потоков: результирующие потоки при соответствующих условиях должны стремиться к простейшим (с показательным распределением интервалов между смежными заявками). Однако практической пользы от них не было, да и сравнивать *функции распределения* пришлось бы на континуальном множестве точек. Помогла аналогия с известными мерами отличия распределений от нормального: асимметрией и эксцессом (см. с. ??). Были введены *коэффициенты немарковости* распределений

$$\xi_k = f_k/f_1^k - k!, \qquad k = 2, 3, \ldots, \tag{9.7}$$

которые для показательного закона (с марковским свойством) тождественно равны нулю. Расчеты подтвердили предельные теоремы — коэффициенты немарковости действительно стремились к нулю; однако стало возможным наблюдать и оценивать *скорость сходимости*.

Проблему расчета потоков в сетях обслуживания замыкала задача *преобразования потоков в узлах*. Применяя к преобразованиям Лапласа (ПЛС) распределения интервалов между выходящими из системы M/M/n заявками известную «катастрофическую» интерпретацию, удалось получить рекуррентные соотношения между упомянутыми ПЛС для числа заявок в системе $j = n, n-1, \ldots, 0$ и на их основе — аналогичные соотношения между моментами этих распределений. Рекуррентный расчет «выходящих моментов» и их взвешенное суммирование с учетом распределения числа заявок в системе дали набор итоговых моментов с практически нулевыми коэффициентами немарковости. Согласие этих результатов с классической теоремой Берке (1956 г.) и имитационной моделью послужило верификацией расчетной методики и дало основание для ее развития и модификации применительно к фазовым аппроксимациям распределений интервалов между заявками и длительностей обслуживания.

Расчеты показали чрезвычайно близкую к линейной зависимость коэффициентов немарковости выходящего потока от аналогичных коэффициентов входящего (при прочих равных условиях). Это обстоятельство существенно уменьшило трудоемкость итерационного пересчета потоков в сетях обслуживания с циклическими маршрутами: по двум расчетам каждого узла строилась упомянутая линейная зависимость, и при дальнейшем уточнении потоков уже не было необходимости в расчете узлов. Учитывая обычную близость входящих потоков к простейшим, одной из опорных точек выбиралась менее трудоемкая модель с простейшим входящим потоком.

Задачу расчета выходящих потоков в преобразованиях Лапласа мы разбирали вместе с моим учеником А. Д. Хомоненко, к тому времени уже профессором. Он спросил у меня, хватит ли на теоретическую часть кандидатской диссертации его подопечного (а моего «научного внука») решения этой задачи в моментах.

— Конечно, хватит! — был ответ. — На час работы!

(Я уже получил этот результат и затратил на него именно такое время.)

9.6.8. Временны́е характеристики систем обслуживания

Метод фиктивных фаз позволяет достаточно точно рассчитать распределение числа заявок практически в любой системе и получить по нему, например, среднюю длину очереди. Однако практиков чаще всего интересуют *распределения* времени ожидания и пребывания заявки в

системе и/или их моменты. Время пребывания является сверткой времени ожидания и чистой длительности обслуживания, которую легко выполнить в моментах. Следовательно, ключевая проблема — распределение времени ожидания начала обслуживания. К ее решению для немарковских входящих потоков я пробовал множество разных подходов, преимущественно основанных на разных аппроксимациях ядра интегрального уравнения Фредгольма первого рода вида (9.1) — следствия закона сохранения стационарной очереди. Однако лучшим оказался вариант, использующий вышеупомянутые коэффициенты немарковости. Приведем поучительную схему его обоснования [203].

Известно, что для систем с показательным обслуживанием виртуальное (ненулевое) время ожидания распределено показательно независимо от числа каналов обслуживания и вида распределения интервалов между смежными заявками. Это дало основание предположить, что коэффициенты немарковости распределения виртуального ожидания зависят *только от распределения длительности обслуживания*. Вид этой зависимости был установлен по моментам, полученным через формулу Полячека—Хинчина для распределения времени ожидания в системе $M/G/1$, и перенесен на произвольное распределение интервалов между заявками и число каналов. Для расчета искомых моментов было предложено по средней длине виртуальной очереди с помощью формулы Литтла найти первый из них, а высшие вычислять через коэффициенты немарковости посредством обращенной формулы (9.7).

При итерационной балансировке потоков в сетях замкнутого и смешанного типа требовался расчет среднего времени ожидания заявок в каждом из n-канальных, вообще говоря, узлов, который при полном анализе узлов отнимал очень много времени. Наличие богатого набора процедур дало возможность подобрать хорошую аппроксимацию:

$$w = \frac{\lambda b_2}{2n^2(1-\rho)} \exp\{-0.7(n-1)(1-\rho)\},$$

имеющую допустимую погрешность при числе каналов $n < 5$. Ее использование позволило формировать матрицу Якоби, необходимую для реализации аналитических методов при балансировке интенсивностей потоков.

Конечной целью анализа сетей обслуживания обычно является получение распределения времени пребывания заявки. В литературе встретилось не очень уверенное упоминание о том, что формула Литтла расчета среднего времени пребывания заявки через ожидаемое число заявок в системе справедлива и для *сетей* обслуживания. Специально поставленный имитационный эксперимент этот тезис подтвердил.

Однако практика требовала построения соответствующей ДФР, для чего были необходимы высшие моменты. Проблема осложнялась возможностью циклических маршрутов.

Мой адъюнкт Ю. А. Демиденко получил преобразование Лапласа—Стилтьеса (ПЛС) плотности распределения времени пребывания заявки в форме

$$\gamma(s) = P\Big[\sum_{k=0}^{\infty} G^k(s)\Big]N(s)T,$$

где

$G(s) = N(s)Q,$

$N(s)$ — диагональная матрица ПЛС распределения времени пребывания заявки в узлах при одном посещении узла;

Q — матрица вероятностей перехода между рабочими узлами сети;

P — вектор-строка вероятностей попадания заявки из источника в рабочие узлы;

T — вектор-столбец вероятностей попадания заявки из рабочих узлов в сток,

и на этом застопорился. Не имея до того дела с матричными рядами, я сразу усмотрел в квадратных скобках геометрическую прогрессию с матричным знаменателем. Очевидные аналогии единицы с единичной матрицей и обычного деления — с умножением на обратную матрицу позволили записать

$$\gamma(s) = P[I - G(s)]^{-1}N(s)T.$$

Теперь можно было составить таблицу $\gamma(s)$ и многократным численным дифференцированием получить ее производные в нуле, с точностью до знака совпадающие с моментами соответствующего порядка. В 2011 г. мой аспирант С. В. Кокорин выполнил соответствующую работу *аналитически* и получил конечные формулы для расчета трех моментов распределения времени пребывания заявки в сети.

Подавляющее большинство работ по теории очередей посвящено системам с выборкой из очереди по принципу FCFS («первый пришел — первый обслужен»). Однако значительный интерес вызывает и *случайный* выбор из очереди (RANDOM). Он особенно типичен для связны́х приложений и ситуаций с разъездными бригадами обслуживания —

ремонтными, аварийными, скорой помощи, групп быстрого реагирования и т. п., где очередность обработки заявок не определяется моментами их поступления. Различные подходы к этой задаче предлагались или воспроизводились в работах Мартина, Риордана, Саати, Картера, Ле Галла, Кингмана, Морза, Пальма, Розенлунда. Все они были выведены громоздкими и различными для разных классов моделей методами, с путаной аргументацией и с привлечением эвристических приемов. Наметилась простая и универсальная идея решения этой задачи посредством цепи Маркова, в которой:

- распределение вероятностей начальных состояний (оно не зависит от дисциплины обслуживания) рассчитывалось известными численными методами;
- переходы в новые состояния вычислялись через распределение числа новых заявок, прибывших за интервал между смежными обслуживаниями, и вероятность выбора или невыбора из очереди «меченой» заявки;
- переходом в поглощающее состояние был выбор «меченой» заявки.

Распределение времени ожидания меченой заявки получалось по схеме, близкой к расчету времени пребывания заявки в сети обслуживания.

Критерием правильности реализации этого алгоритма было соотношение вторых моментов времени ожидания при случайной и последовательной выборках из очереди, которое для марковской системы согласно нескольким из вышеперечисленных классиков составляло 1.54. Мои расчеты давали 1.37. К этой задаче я многократно возвращался на протяжении более 10 лет — всякий раз приблизительно с тем же результатом. Наконец, я решил проверить расчет на надежно отлаженной имитационной модели — и получил 1.37! Совпадение результатов, полученных столь различными способами, было убедительным доказательством правильности «цепного» алгоритма. Теперь не составило особого труда найти *полное* решение задачи (для рекуррентного потока и произвольных распределений длительности обслуживания).

9.7. Новая жизнь

Ради возможности продолжать активную научную работу и из-за последствий «излишней правдивости» я в 1976 г. отказался от заведования кафедрой. Во избежание скандала изменение карьеры оформлялось по

медицинской линии. Исчерпав сердечные, желудочные и неврологические гипотезы, меня показали... окружному психиатру. На вопрос об анамнезе я рассказал о черепной травме — в шестилетнем возрасте уронил на голову граммофон со шкафа, и предложил потрогать шишку. Последовал неуклюжий комплимент:

— Ну, на ваших способностях это не отразилось!

— Может быть, даже наоборот! Вы знаете, *Ньютона* в детстве били по голове одноклассники, и он решил их уесть успехами в науках.

Тут мой собеседник весь подобрался, глаза засверкали: «Какой случай!! На обществе выступлю, статью напишу!». Было даже жалко его разочаровывать, но пришлось официально заверить, что с сэром Айзеком я не равняюсь.

Эта эпопея в конце концов завершилась к общей пользе и удовольствию, и руки для настоящей работы были развязаны.

Развитие читаемых дисциплин вынуждало перманентно писать статьи и учебные пособия. Последние проходили через РИО академии мучительно медленно, но зато подвергались исключительно добросовестному литературному и техническому редактированию. Взаимодействие с такими профессионалами, как Е. М. Мамаева, Т. Г. Мельник, Т. П. Никитина, И. Ф. Поведская, Е. Г. Элькин, было великолепной школой даже для автора с немалым опытом и стажем. Мне искренне жаль нынешнюю самонадеянную молодежь, норовящую передать свои дефективные труды прямо в типографию — мимо редакторов.

Рукописи приходилось готовить собственноручно, и от вписывания формул (четыре экземпляра под копирку карандашом 5Т) с пальцев месяцами не сходили кровавые мозоли. Зато смотрелись рукописи прекрасно. Когда в Таллинне шла сдача пакета МОСТ, главный инженер центра, чтобы увеличить выполненный его организацией объем работ, настоял на перепечатке всей документации для типографского тиражирования. Формулы были вписаны коряво и дрожащей рукой, включая черту у дробей (даже без линейки)! Я как автор возмутился и услышал в ответ: «У нас нет таких классных чертежников, как ваши!»

Конечно, это был лестный комплимент, но ПЭВМ я воспринял прежде всего как средство избавления от такой работы. Однако опыт набора формул в *Лексиконе* и *Chi-Writer*'е показал, что радоваться рано. И тут я узнал о существовании созданной Д. Кнутом системы TEX программируемого набора математических рукописей с высочайшим полиграфическим качеством. Знакомство с ней превзошло все ожидания. С ее помощью я в короткий срок издал накопившиеся труды тиражом от

одного до двухсот экземпляров (внутренние издания родной академии). Параллельно осваивая новые текстовые процессоры, я каждый раз убеждался, что все они уступают TEX'у по удобству работы и качеству конечного продукта. Проблемы были только с научной графикой (решались с помощью TEXнической же системы *Gnuplot*) и с вычерчиванием блок-схем алгоритмов. Для последних (и многих других видов схем, компонуемых из стандартных блоков) идеально подошла *Visio*.

Для продолжения работ над пакетом МОСТ и большего удобства использования захотелось перенести его на ПЭВМ. В распространенных системах программирования для них отсутствовал по крайней мере один из абсолютно необходимых инструментов: внутренние процедуры, динамические массивы и встроенные средства работы с комплексными переменными. Почти все, что нужно, обнаружилось лишь в *Microsoft Fortran 5.0*. Разработав технологию полуавтоматического перевода, я за три месяца переписал с *ПЛ/1* на *Фортран* 130 процедур — около 20 тыс. строк фортранного кода. Отсутствие *внутренних процедур* удалось обойти, вспомнив технику обращения к процедурам в кодах М-20: предварительную засылку в конец тела процедуры настраиваемой команды возврата, которой в *Фортране* соответствует оператор «перехода по предписанию». Полное и естественное решение всех проблем обеспечила четвертая версия *Фортрана PowerStation* — система с колоссальными возможностями, но требующая для типовой инсталляции 70 Мбайт дискового пространства. Эти возможности сохранены и в новейшей версии (*Compaq Visual Fortran*), требующей впятеро большей дисковой памяти. Еще более объемист современный *Intel Fortran*.

9.8. Виток спирали

Вхождение в рынок резко повысило интерес к экономическим аспектам любой целенаправленной деятельности, многократно увеличило потребность в экономистах и менеджерах. Высокие темпы инфляции, возросшая ненадежность поставок, экономическая ответственность за срыв контрактов и «категорический императив» работающих денег потребовали, наконец, внедрения в практику и в обучение специалистов научных методов *управления запасами*. В этих условиях у меня появилась возможность вернуться к старым задачам и на новом уровне рассмотреть важнейшую проблему расчета восстанавливаемого ЗИПа [208, 215]. Здесь пригодились работы 1970-х гг.; новое применение нашли разработанные применительно к вычислительным системам и сетям методы

расчета распределений длительности обслуживания и длин очередей; были заново и очень экономно решены некоторые старые проблемы (например, расчет систем с порогом обслуживания и разогревом — специалисту по теории очередей будет интересно сопоставить [199] и соответствующий раздел [208] по сложности вывода и конструктивности результатов). Был решен ряд задач с коксовой аппроксимацией C_2 временны́х распределений по трем моментам. В отличие от H_k-аппоксимации, она не имеет особых случаев, а области комплексных и парадоксальных значений параметров не совпадают с таковыми для H_2. Это обогатило схему тестирования процедур пакета и укрепило уверенность в его надежности.

С учетом опыта предперестроечных лет были переписаны и экономические разделы. Хочется надеяться на то, что эти материалы будут востребованы хотя бы практиками: новейшая *учебная* литература по логистике (а я проработал более 100 отечественных и переводных учебников и учебных пособий XXI века — см. [215]) демонстрирует крайнюю математическую скудость, а во многих случаях — и математическую же безграмотность. О проблеске надежды свидетельствует то, что главный редактор журнала «Логистика» заказал мне статью с критическим обзором состояния одноименной теории (см. № 2-09).

Участие во Всероссийских конференциях по имитационному моделированию также навело на грустные мысли и подсказало идеи для практической разработки. Прежде всего выявились слабая математическая и программистская подготовка «имитаторов» и их ориентация на пакеты типа GPSS со скрытой от пользователя логикой интерпретатора. Это побудило заняться критическим анализом возможностей таковых, обоснованием возврата (по крайней мере в исследовательских целях) к *прямой* имитации, разработкой типовых моделей СМО, усовершенствованием использования датчиков случайных чисел (см. уже обсуждавшуюся идею разнесения начальных установок), оценкой эффективности методов понижения дисперсии — см. [214].

Приобретенный опыт позволил вернуться и к старым задачам теории очередей. Одной из наболевших проблем был расчет многоканальных приоритетных систем, который при попытке учесть количество заявок каждого типа, находящихся в очереди, заводил в тупик из-за неимоверного разрастания пространства состояний. Задачу удалось решить «в средних», комбинируя с аналитическим подходом *имитационные модели*. Расчет средних времен ожидания *начала* обслуживания требовал знания двух моментов такого распределения для одно-

канальной приоритетной системы, причем для вторых моментов пять источников приводили различные формулы. С помощью имитационного моделирования удалось выбрать правильную. Далее для широкого диапазона параметров также в имитационных экспериментах были найдены средняя кратность и средняя длительность прерываний, после чего для них удалось получить полуаналитические аппроксимации. Результаты тестирования методики в целом оказались в очень хорошем согласии с комплексной имитационной моделью (см. доклад автора на I Всероссийской конференции по имитационному моделированию ИММОД-2003).

Удалось также решить задачу с поступлением заявок пачками случайного объема; разработать метод и программу анализа «дважды коксовой» системы обслуживания; решить проблему квантованного обслуживания в многоуровневой системе очередей (в этой задаче у меня 20 лет не получалось правильное условие баланса объемов работы).

Для итерационного метода Такахаси—Таками ранее использовался примитивный способ задания начальных векторов вероятностей микросостояний — равновероятное распределение в пределах яруса. Воспоминание о рождении расчета модели $M/H_2/n$ из схемы марковского обслуживания неоднородного потока заявок двух видов навело на мысль принять условное распределение числа обслуживаемых заявок каждого типа биномиальным с вероятностями, пропорциональными $\{y_i/\mu_i\}$. Это приближение оказалось намного лучше равномерного.

Разработанные методы расчета многоканальных систем с фазовыми аппроксимациями ранее тестировались для небольшого числа каналов. Массовое распространение многоканальных систем, прежде всего вычислительных, поставило вопрос об оценке возможностей упомянутых методов и повышении этих возможностей. «Нагрузочное» тестирование пакета МОСТ показало, что надежды на расчет многоканальных фазовых систем методом матрично-геометрической прогрессии (МГП) оказались преувеличенными. Сравнительно небольшое число МГП-итераций «компенсируется» резким ростом их трудоемкости. В каждой из итераций МГП для модели $M/H_2/n$ приходится решать систему из $(n+1)^2$ линейных алгебраических уравнений относительно компонент матричной поправки, а затем — систему относительно $(n+1)(n+2)/2$ вероятностей начальных микросостояний. Поскольку трудоемкость решения системы из n уравнений общего вида пропорциональна n^3, трудоемкость МГП следует оценивать как $O(n^6)$ с большим коэффициентом, что делает применение этого внешне заманчивого метода малоперспективным. Это подтверждают данные табл. 9.1 для коэффициента вариации $v_B = 2$.

В этой таблице i обозначает количество итераций для достижения точности 10^{-6}, t — время счета в секундах (Pentium 4, 2.4 ГГц) и q — полученную среднюю длину очереди. Нулевые отметки для t соответствуют $t < 0.01$ с (порог чувствительности процедуры контроля времени счета).

Таблица 9.1. МГП-расчет систем с большим числом каналов

Показатели	Число каналов						
	1	2	3	5	10	20	30
i	5	5	6	7	8	8	9
q	4.083	3.272	2.741	2.043	1.136	0.444	0.196
t	0	0	0	0	0.44	25.37	305.17

В мировой литературе по расчету многоканальных фазовых систем практически единодушно принимается «фольклорная» рекомендация: для распределений с коэффициентом вариации, большим единицы, рекомендуется H_2-аппроксимация, а в остальных случаях — эрлангова. Однако эрлангова аппроксимация строго выравнивает только первый момент и приближенно — второй и применима лишь для коэффициентов вариации $v \le 1/\sqrt{2} = 0.707$. Для малых коэффициентов вариации она порождает недопустимо быстрый рост количества микросостояний по числу каналов. Поэтому возникла необходимость использовать H_2-аппроксимацию и в области умеренных и малых коэффициентов вариации, где она имеет *комплексные* параметры. Анализ промежуточных результатов метода МГП показал, что матричный знаменатель прогрессии R в этой области обладает своеобразной симметрией: его элементы, симметричные относительно центра матрицы, комплексно сопряжены. Значит, на каждом шаге очередного уточнения знаменателя достаточно рассчитать любую его половину, а для получения другой воспользоваться этой симметрией. В этих целях составленная первоначально подпрограмма формирования и решения матричного уравнения Риккати была модифицирована следующим образом:

1. Формировалась усеченная система из $M = \lceil N/2 \rceil$ уравнений (ближайшее целое, не меньшее указанного частного).

2. В полученной системе неизвестные элементы исходной матрицы поправок d_{mk} заменялись на $x_{mk} + iy_{mk}$, а комплексно сопряженные с ними — на $(x_{mk} - iy_{mk})$.

3. Сформированные по п. 1 уравнения расщеплялись на два — для вещественных частей и коэффициентов при мнимой единице с учетом равенств

$$(a+ib)(x+iy) = ax-by+i(bx+ay), \quad (a+ib)(x-iy) = ax+by+i(bx-ay).$$

В случае нечетного M последнее уравнение записывалось только для вещественной части.

4. Полученная система линейных алгебраических уравнений решалась стандартным методом Гаусса.

Указанные преобразования асимптотически (при больших n) уменьшают трудоемкость решения уравнения Риккати более чем вдвое. Из этих соображений следует естественная рекомендация: иметь два варианта процедуры расчета системы $M/H_2/n$ — с комплексными и вещественными параметрами аппроксимации распределения длительности обслуживания.

Важным новым результатом является также определение границ применимости метода МГП, несправедливо доминирующего в мировой литературе по теории очередей. Между прочим, еще в 1984 г. в дискуссии на конференции по расчету характеристик вычислительных систем П. Швейцер сказал: «Мы затратили слишком много времени на такие модели, как product-form networks and matrix-geometric solutions». Оказалось, что метод МГП в случае комплексных параметров, т. е. для умеренных и малых коэффициентов вариации, работает при числе каналов до 15. В случае с действительными параметрами его можно использовать для $n <= 40$. Отметим, наконец, что он *принципиально* применим только к QBD (quasi birth and death) процессам — с переходами лишь между смежными ярусами диаграммы состояний.

По изложенным причинам сделан вывод о большей перспективности итерационного метода Такахаси—Таками, не связанного с принципом QBD и допускающего расчет по крайней мере до 100 каналов в вещественном случае и до 30 — в комплексном. Кстати, и в этом методе в случае комплексных параметров можно использовать свойство симметрии компонент векторов условных вероятностей микросостояний.

9.9. Информатика, науковедение, жизнь

В конце 1990-х гг. мне поручили постановку курса информатики. Было естественно включить в него современный инструментарий научно-технической работы: новый *Фортран* [205, 212]; пакеты прикладных программ для решения математических задач [206]; базы данных; интеллектуальные пакеты типа TK Solver; средства вычерчивания схем [207] и набора математических рукописей [204]. Все эти проблемы представляли непосредственный интерес и для соискателей ученых степеней. К тому времени необходимость регулировать проходящих через

совет диссертантов с общих позиций науковедения и русской филологии *каждого в отдельности* переполнила чашу моего терпения, и я решил помочь им всем — и себе — книгой [209].

Готовя ее последующие издания, я установил — еще находка для психиатра! — что писал свою научную автобиографию, *как и Эйнштейн* [190, с. 74], на 68-м году жизни. Наверное, это самый подходящий возраст «собирать камни» — в смысле «мысли». Приятно было узнать [99, с. 42], что Эйнштейн тоже уделял мало внимания своей одежде и дома обычно не носил носков. Обнаружилось [53, с. 260], что из мира вещей *Я. И. Френкель* любил только авторучки — я всю «компенсацию» за пропавший в 1991 г. денежный вклад, на который можно было приобрести два автомобиля, истратил на авторучку парижской фирмы Waterman. Выяснилось также [96, с. 237], что «чересчур прямолинейные высказывания, которые в обществе принято называть нетактичными», были характерны и для *Резерфорда*. На моем 75-летии звучали тосты в честь *создателя* (кафедры) — невольно вспомнился перечень ступеней познания на с. 87.

В преддверии такого юбилея было естественно задуматься о смысле жизни и работы. За последние десятилетия произошло резкое снижение уровня набираемого в ВКА им. Можайского контингента и кандидатов в адъюнктуру; многие друзья и соратники ушли из жизни; мои лучшие ученики разбежались по иным вузам и коммерческим фирмам. Сомнительность перспектив сохранения научной школы по численным методам теории очередей, публикации новых наработок и практического использования пакета МОСТ побудили меня предложить свои услуги Санкт-Петербургскому институту информатики и автоматизации Российской академии наук. В лице его директора и моего старинного друга члена-корреспондента РАН Р. М. Юсупова я встретил заинтересованное сочувствие, а в коллективе — десятки бывших соратников и учеников.

Почти сразу сформировался коллектив единомышленников; мне поручили умного и работящего аспиранта, посыпались предложения о статьях и выступлениях на конференциях. Необходимость написать доклад на английском языке для Международной конференции по современным телекоммуникационным системам заставила освоить системы автоматического перевода (в частности, PROMT) и включить в эту книгу выстраданные рекомендации по их применению. Доклад, лишь слегка подправленный опытным преподавателем, удостоился одобрения оргкомитета за хороший английский. Удалось решить несколько ранее «наболевших» задач по оптимизации сетевых маршрутных мат-

риц; программированию закольцованных цепей будущих событий в имитационных моделях; эффективному расчету замкнутых сетей с линейной зависимостью интенсивностей входящих потоков от числа заявок в узле.

Проблемы, не решаемые численными методами, я продолжал исследовать с помощью имитации. Обсуждая эти вопросы на очередной конференции ИММОД с проф. О. И. Кутузовым, я выяснил, что мы с ним встречались более 60 лет назад — на баскетбольных площадках. От него — заслуженного мастера спорта СССР, в прошлом игрока сборной страны — я получил самое лестное в своей жизни предложение: сыграть *на чемпионате мира* в категории «75+».

Жить стало лучше. Жить стало веселее!

9.10. Резюме

Знакомство с «Автобиографией» должно помочь читателю *убедиться* в пользе непосредственно вытекающих из нее, а также из оставшихся «за кадром» фактов, следующих рекомендаций:

1. Успешная научная карьера создается не просто везением и совпадениями. Надо быть в широком смысле слова *готовым* воспользоваться благоприятным стечением обстоятельств, находиться в постоянном поиске и всегда *знать, что ищешь*. Для этого постоянно расширяйте свой кругозор и возможности, тренируйте память, совершенствуйте ее организацию.

2. Математика — не только царица, но и основа наук (по крайней мере, технических). Постепенно осваивайте нужный инструментарий, однако вряд ли стоит делать это «впрок», не имея в виду конкретные потребности. Многие знакомые автора закончили курсы повышения математической подготовки инженеров при Ленинградском университете, но эти курсы пошли на пользу единицам: *самые ученые среди нас отличаются от невежд единственно тем, что обретают способность тешить себя многочисленными и сложными заблуждениями* (А. Франс).

3. То же относится к освоению новых технологий и систем программирования. В каждом таком случае составляйте для себя краткий конспект полезных технологий и держите его под рукой. Каждую написанную вами достаточно содержательную программу снабжайте комментарием относительно ее назначения, условия и особенностей применения; полученных с ее помощью выводов.

4. Будьте готовы к смене направления работы. Наука наших дней делает неизбежной перемену в предмете, методах, целях деятельности ученых и научных коллективов. Автору пришлось «параллельно-последовательно» заниматься боевой эффективностью, управлением запасами, вычислительной математикой, математическим программированием, теорией очередей, эффективностью и надежностью программного обеспечения, информатикой, имитационным моделированием, науковедением — см. список литературы.

Приступая к новой проблеме (задаче), спроецируйте на нее весь ваш предыдущий опыт, ищите аналогии и решенные подзадачи: *Каждая решенная мною задача становилась образцом, который служил впоследствии для решения других задач* (Р. Декарт). Начинайте с самых простых решений — скорее всего, они окажутся наиболее полезными. Примите к неуклонному руководству знаменитый принцип KISS — *Keep It Simpler, Stupid!*[7]: как вы могли заметить, он полностью оправдал себя в проблемах аппроксимаций с поправочными многочленами, построения матриц перехода, расчета знаменателя матрично-геометрической прогрессии. П. Л. Капица [96, с. 231–232] считал, что ученого следует оценивать по стремлению и умению искать простое решение. Однако далеко не все гениальное — просто. «Общая теория относительности, квантовая механика, квантовая электродинамика, теория элементарных частиц отнюдь не просты» [144, с. 44].

5. При наступлении «кризиса идей» в теоретической разработке или при отладке программы переведите проблему в подсознание и отложите ее до лучших времен (некоторые из программ упомянутого пакета МОСТ находились в отладке по четыре года, а задача с многоуровневой системой очередей — свыше 20).

6. Доводите до конца *своими руками* решение каждой задачи, включая расчеты, графики, анализ промежуточных результатов и выводы (вспомните совет акад. Я. Б. Зельдовича!). У вас будет дополнительный шанс выверить постановку задачи и метод решения, математические выкладки; найти новые пути и приложения; обнаружить новые следствия и сделать дополнительные выводы из результатов счета. Последнее заметно облегчается при графическом представлении результатов и их анимации (такие средства в современных математических пакетах имеются).

7. Сами оформляйте материалы публикаций (исключая особо объемные работы — при наличии квалифицированных помощников). Такая «самодеятельность» обеспечит минимум вкравшихся ошибок.

[7]Делай это проще, дурень!

Увидеть красивую работу красиво оформленной вам поможет издательская система LaTeX — см. разд. 6.2 и [110, 131, 204]. Автор набрал в ней свыше 20 книг, в том числе [205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 213], и заверяет, что освоиться с этой замечательной и не стареющей системой можно за неделю.

8. Время от времени сопоставляйте свои результаты и возможности с требованиями текущего момента. Именно так была выявлена непрактичность МГП для СМО с большим числом каналов.

Литература

[1] Агни Йога. — тт. 1–6. — М.: Русский Духовный центр, 1992.

[2] *Адамар Ж.* Исследование психологии процесса изобретения в области математики / Пер. с франц. — М.: Советское радио, 1970. — 152 с.

[3] *Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: 1976.

[4] *Азимов А.* Язык науки / Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 280 с.

[5] *Акофф Р.* Искусство решения проблем. — М.: Мир, 1992. — 211 с.

[6] *Алабужев П. М., Геронимус В. Б., Минкевич Л. М., Шеховцев Б. А.* Теория подобия и размерностей, моделирование. — М.: Высшая школа, 1968. — 208 с.

[7] *Алферов Ж. И.* Физика и жизнь. — СПб.: Наука, 2000. — 255 с.

[8] *Алферов Ж. И.* Наука и общество. — СПб.: Наука, 2005. — 383 с.

[9] *Альтшуллер Г. С.* Найти идею. — Новосибирск: Наука, 1986. — 209 с.

[10] *Андреев А. В.* Физики не шутят. Страницы социальной истории НИИ физики при МГУ. — М.: Прогресс-Традиция, 2000. — 320 с.

[11] *Аристова М. В., Веселков Ф. С., Горшков В. В.* В помощь соискателю ученой степени. — СПб.: Гос. инженерно-экономическая академия, 1999. — 66 с.

[12] *Арнольд В. И.* Что такое математика? — М.: МЦНО, 2008. — 104 с.

[13] Аспирантура и докторантура (практические вопросы): Методическое пособие. — СПб.: СПБГТУ, 2002. — 44 с.

[14] *Астахов М. А., Ростовцев Ю. Г., Яфраков М. Ф.* Информационная борьба и знаковые системы. — М.: Изд-во ТОМ, 2007. — 334 с.

[15] Афоризмы. — Л.: Лениздат, 1964. — 212 с.

[16] *Балдин Е. М.* Компьютерная типография LaTeX. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 304 с. + дистрибутив на CD-ROM.

[17] *Баррон Д.* Введение в языки программирования / Пер. с англ. — М.: Мир, 1980. 190 с.

[18] *Бартеньев О. В.* Современный Фортран. — М.: Диалог-МИФИ, 1998. — 397 с.

[19] *Батько Б. М.* Соискателю ученой степени. Практические рекомендации (от диссертации до аттестационного дела). — М.: СИП РИА, 2000. — 212 с.

[20] *Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М.* Численные методы. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. — 624 с.

[21] *Белицкий В. И.* Как работать над кандидатской диссертацией. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1988. — 37 с.

[22] *Белицкий В. И., Бянкин А. А., Чихонадских А. П.* Понятийные основы методологии научных исследований: Методическое пособие. — СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 2000. — 159 с.

[23] *Бельчиков Ю. А., Кохтев Н. Н.* Лектору о слове. — М.: Знание, 1973. — 104 с.

[24] *Бехтерева Н. П.* Здоровый и больной мозг человека. — Л.: Наука, 1980. — 208 с.

[25] *Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.* Мозг, разум и поведение / Пер. с англ. М.: Мир, 1988. — 248 с.

[26] *Богумирский Б. С.* Руководство пользователя ПЭВМ, в двух частях. — СПб.: Ассоциация OILCO, 1992.

[27] *Бониц М.* Научные исследования и научная информация / Пер. с нем. — М.: Наука, 1987. — 155 с.

[28] *Борн М.* Моя жизнь и взгляды / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1973. — 176 с.

[29] *Бородина В. А., Бородин С. М.* Учим... читать: Уроки динамического чтения. — Л.: Лениздат, 1985. — 192 с.

[30] *Бургин М. С., Кузнецов В. И.* Введение в современную точную методологию науки. — М.: АО «Аспект-пресс», 1994. — 303 с.

[31] *Бурдин К. С., Веселов П. В.* Как оформить научную работу. — М.: Высшая школа, 1973. — 152 с.

[32] *Быков В. В.* Методы науки. — М.: Наука, 1974. — 215 с.

[33] *Быков В. В.* Научный эксперимент. — М.: Наука, 1989. — 175 с.

[34] *Вадзинский Р. Н.* Справочник по вероятностным распределениям. — СПб.: Наука, 2001. — 295 с.

[35] *Валуева А. А.* Методика подготовки рукописи научной работы: Указатель книг и статей, 1975–1981 гг. — М.: ГБЛ, 1982. — 21 с.

[36] Введение в социологию науки: Учеб. пособие. — СПб.: Ун-т экономики и финансов, 1993. — 152 с.

[37] *Вегнер П.* Программирование на языке Ада / Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 240 с.

[38] *Веников В. А.* О моделировании. — М.: Знание, 1974. — 63 с.

[39] *Вентцель Е. С.* Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 551 с.

[40] *Венц А.* Профессия — программист. — Ростов н/Д: Феникс, 1999. — 384 с.

[41] *Вернадский В. И.* Размышления натуралиста. Кн. 2.
Научная мысль как планетарное явление. — М.: Наука, 1977. — 191 с.

[42] *Вернадский В. И.* Начало и вечность жизни. — М.: Советская Россия, 1989. — 703 с.

[43] *Вернадский В. И.* Научная мысль как планетное явление. — М.: Наука, 1991. — 271 с.

[44] *Вернадский В. И.* О науке. Том 1. Научное знание. Научное творчество. Научная мысль. — Дубна: изд. центр Феникс, 1997. — 576 с.

[45] *Вернадский В. И.* Биосфера и ноосфера. — М.: Айрис-пресс, 2004. — 576 с.

[46] Вернадскианская революция в системе научного мировоззрения — поиск ноосферной модели будущего человечества в XXI веке / Под научной ред. А. И. Субетто. — СПб.: Астерион, 2003. — 592 с.

[47] *Визгин В. П.* Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. — М.: Наука, 1972. — 240 с.

[48] *Вирт Н.* Программирование на языке Модула-2 / Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 222 с.

[49] *Воблый К. Г.* Организация труда научных работников. — Киев: АН УССР, 1949. — 198 с.

[50] *Водопьянова Е. В.* Проблемы технологии научной деятельности. —
Томск: Изд-во ТГУ, 1994. — 97 с.

[51] Вопросы организации работы с аспирантами в инженерном вузе: Сб. статей. — М.: МИФИ, 1982. — 124 с.

[52] *Воробьев Е. М.* Введение в систему «Математика»: Учеб. пособие. —
М.: Финансы и статистика, 1998. — 262 с.

[53] Воспоминания о Я. И. Френкеле. — Л.: Наука, 1976. — 280 с.

[54] В поисках нового мировидения. И. Пригожин, Е. и Н. Рерихи. —
М.: Знание, 1991. — 64 с.

[55] *Гетманова А. Д.* Учебник по логике. — М.: ЧеРо, 1997. — 304 с.

[56] *Гетманова А. Д.* Логика. Словарь и задачник: Учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Изд. центр ВЛАДОС, 1998. — 336 с.

[57] *Гиндикин С. Г.* Рассказы о физиках и математиках. — М.: МЦНМО, 2001. — 448 с.

[58] *Гитис Э. И.* Как работать над диссертацией по техническим наукам. — Пенза: 1986. — 84 с.

[59] *Глухов В. В.* Подготовка и проведение защиты диссертации: рекомендации для соискателей ученых степеней. — СПб.: Изд-во ГТУ, 2000. — 47 с.

[60] *Гнеденко Б. В.* О математике. — М.: 2000. — 208 с.

[61] *Гордеев О. И., Ильин Л. А.* Основы научных исследований: Учеб. пособие, ч. 3–4. — Новосибирск: 1995. — 149 с.

[62] *Городецкий В. И., Рыжиков Ю. И.* Математическое программирование и массовое обслуживание: Учеб. пособие. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1975. — 182 с.

[63] *Гостев А. А.* Образная сфера человека. — М.: 1992. — 164 с.

[64] *Гранин Д.* Сад камней. — М.: Современник, 1972. — 285 с.

[65] *Грановская Р. М., Березная И. Я.* Интуиция и искусственный интеллект. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. — 269 с.

[66] *Григорьев Б. В.* Классическая логика: Учеб. пособие. — М.: Изд. центр ВЛАДОС, 1996. — 192 с.

[67] *Григорьев Б. В.* Автореферат диссертации: его назначение, структура и функция. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2002. — 36 с.

[68] *Грицаенко И. А., Клименко С. В.* LaTeX. Руководство для пользователей. — Протвино: ИФВЭ, 1997. — 162 с.

[69] *Гуссенс М., Миттельбах Ф., Самарин А.* Путеводитель по пакету LaTeX / Пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 606 с.

[70] *Гуссенс М., Ратц С., Миттельбах Ф.* Путеводитель по пакету LaTeX и его графическим расширениям / Пер. с англ. — М.: Мир, 2002. — 621 с.

[71] *Гутер Л. С., Полунов Ю. Л.* Чарльз Бэббедж. — М.: Знание, 1973.

[72] *Дал У., Мюрхауг Б., Нюгорд К.* Симула-67. Универсальный язык программирования / Пер. с англ. — М.: Мир, 1969. — 100 с.

[73] *Данилов И. Я.* Справочник автора книги. — М.: 1966. — 319 с.

[74] *Данилов Ю. А.* Джон фон Нейман. — М.: Знание, 1981. — 64 с.

[75] *Данциг Т.* Числа — язык науки / Пер. с англ. — М.: Техносфера, 2008. —- 304 с.

[76] *Диксон П.* Фабрики мысли / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1976. — 451 с.

[77] *Добров Г. М.* Наука о науке. — Киев: Наукова думка, 1989. — 304 с.

[78] *Долгов А. И.* Изложение научных результатов в диссертации. — Калинин: ВА ПВО, 1995. — 48 с.

[79] Древнекитайская философия, тт. 1–2. — М: Мысль, 1972.

[80] *Дьяконов В. П.* Системы символьной математики Mathematica 2 и Mathematica 3. — М.: СК пресс, 1998. — 328 с.

[81] *Дьяконов В. П.* Справочник по системе символьной математики Derive. — М.: СК пресс, 1998. — 256 с.

[82] *Евсеев В. С.* Подготовка и защита диссертации: справочно-методическое пособие. — СПб.: Политехника, 1991. — 304 с.

[83] *Егоренков Д. Л., Фрадков А. Л., Харламов Ю. В.* Построение и анализ моделей с примерами на языке MATLAB: Учеб. пособие. — СПб.: БГТУ, 1994. — 192 с.

[84] *Журавлева З.* Роман с героем — конгруэнтно — с самим собой. // Нева, 1988, №№ 2–5.

[85] *Зедгинидзе И. Г.* Математическое планирование эксперимента для исследования и оптимизации свойств смесей. — Тбилиси: Мецниереба, 1971. — 151 с.

[86] *Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д.* Элементы прикладной математики. — М.: Наука, 1972. — 592 с.

[87] *Иванов А. Е.* Ученые степени в Российской империи. — М.: 1994. — 198 с.

[88] *Иванов В. Г., Лезгина М. Л.* Детерминация научного поиска. — Л.: Наука, 1978. — 205 с.

[89] *Ивлев Ю. В.* Логика: Учебник для вузов. — М.: Логос, 1997. — 272 с.

[90] *Икрамов Х. Д.* Численное решение матричных уравнений. — М.: Наука, Физмат, 1984. — 192 с.

[91] *Иоффе А. Я., Петухов Г. Б., Миров Ю. Н.* Лекции по математической статистике: Учеб. пособие. — Л.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1970. — 176 с.

[92] История ученых степеней в России и Западной Европе (XII — XX вв). — М.: РГГУ, 1998. — 131 с.

[93] Как работать над диссертацией: метод. рекомендации для соискателей и аспирантов. — Баку: ИФАН, 1980. — 44 с.

[94] *Калянов Г. Н.* CASE — структурный системный анализ (автоматизация и применение) / Пер. с англ. — Изд-во «ЛОРИ», 1996. — 242 с.

[95] *Камышанова Л. К., Суслов Ю. А.* Молодой ученый. Каким ему быть? — Л.: Знание, 1978. — 32 с.

[96] *Капица П. Л.* Эксперимент, теория, практика. — М.: Наука, 1977. — 352 с.

[97] *Кауфман Б. Ш.* Языки программирования. Концепции и принципы. — М.: Радио и связь, 1993. — 432 с.

[98] *Каханер Д., Моулер К., Нэш С.* Численные методы и математическое обеспечение / Пер. с англ. — М.: Мир, 1998. — 575 с.

[99] *Кедров Ф.* Повесть о Френкеле. — М.: Знание, 1968. — 144 с.

[100] *Киндлер Е.* Языки моделирования / Пер. с чешского. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 288 с.

[101] *Клейнен Дж.* Статистические методы в имитационном моделировании / Пер. с англ. — М.: Статистика, 1978. — Вып. 1–2. — 386 с.

[102] *Климов Е. А.* О некоторых нежелательных традициях в работе диссертационных советов по педагогическим и психологическим наукам // Бюлл. ВАК, 2002, № 1.

[103] *Кирпичников М. П.* Интернет-конференция 23.03.2006.

[104] *Кирпичников М. П.* Возведение в степень // «Российская газета», 26.04.2006.

[105] *Коваленко Е. С., Киселев О. Н., Шарыгин Г. С.* Основы научных исследований: Учеб. пособие. — Томск: ТГУ, 1989. — 192 с.

[106] *Кожемякин В. В.* Засекреченный адмирал. — СПб.: НИЦ БТС, 1999. — 92 с.

[107] *Колесникова И. А.* Драма неклассической педагогики // Школьные технологии, 2009, № 1. — С. 13–17.

[108] *Короткина И. Б.* Концепция «Академической грамотности» и проблемы интеграции российского образования в мировую систему // Школьные технологии, 2009, № 1. — С. 18–23.

[109] *Косолапов В. В.* Информационно-логический анализ научного исследования. Киев: 1968. — 351 с.

[110] *Котельников И. А., Чеботаев П. З.* Издательская система LaTeX 2_ε. — Новосибирск: Сибирский хронограф, 1998. — 496 с.

[111] *Кравец А. С.* Идеалы и идолы науки. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. — 219 с.

[112] *Кринецкий И. И.* Основы научного исследования: Учеб. пособие. — Киев, Одесса: Вища школа, 1981. — 207 с.

[113] *Кристиан К.* Руководство по программированию на языке Модула-2 / Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 463 с.

[114] *Крон Г.* Тензорный анализ сетей / Пер. с англ. — М.: Советское радио, 1978. — 720 с.

[115] *Круг Г. К., Сосулин Ю. А.* Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. — М.: Наука, 1977. — 208 с.

[116] *Крылов А. Н.* Мои воспоминания. — Л.: Судостроение, 1984. — 480 с.

[117] *Кузин Ф. А.* Диссертация: Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты: Практическое пособие для докторантов, аспирантов и магистрантов. М.: Ось-89, 2000. — 320 с.

[118] *Кузнецов Б. Г.* Ценность познания. — М.: Наука, 1975. — 167 с.

[119] *Кузьмичев Д. А.* и др. Автоматизация экспериментальных исследований: Учеб. пособие. — М.: Наука, 1983. — 391 с.

[120] Культура оформления научно-исследовательских работ. — Кемерово: Кузбасский ин-т развития профессионального образования, 2005. — 72 с.

[121] *Лабковский Б. А.* Наука изобретать. — СПб.: Нордмет-издат, 1999. — 372 с.

[122] *Лавров С. С.* Программирование. Математические основы, средства, теория. СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 320 с.

[123] *Ладыга И. Ф.* Методические рекомендации по оформлению диссертации и автореферата. — Военная артиллерийская академия, 1982. — 31 с.

[124] *Ларошфуко Ф., Паскаль Б., Лабрюйер Ж., де.* Суждения и афоризмы. — М.: Политиздат, 1990. — 384 с.

[125] *Левин В. И.* Рамануджан — математический гений Индии. — М.: Знание, 1968. 48 с.

[126] *Левинштейн М. Е.* Когда физики еще шутили. — М.—Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 132 с.

[127] *Линдерс М. Р., Фирон Х. Е.* Управление снабжением и запасами: Логистика / Пер. с англ. — СПб.: Виктория плюс, 2002. — 768 с.

[128] *Лишевский В. П.* Педагогическое мастерство ученого. — М.: Наука, 1975. — 118 с.

[129] *Луканин В. Н., Буслаев А. П., Трофименко Ю. В., Яшина М. В.* Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. пособие / Под ред. В. Н. Луканина. — М.: ИНФРА-М, 1998. — 408 с.

[130] *Луканин В. Н., Буслаев А. П., Яшина М. В.* Автотранспортные потоки и окружающая среда–2: Учеб. пособие / Под ред. В. Н. Луканина. — М.: ИНФРА-М, 2001. — 646 с.

[131] *Львовский С. М.* Набор и верстка в пакете LaTeX / 2-е изд. — М.: Космоинформ, 1995. — 373 с.

[132] Люйши Чуньцю. Весны и осени господина Люя / Пер. с китайского. — М.: Мысль, 2001. — 526 с.

[133] *Майзель И. А.* Наука. Автоматизация. Общество. — Л.: Наука, 1972. — 280 с.

[134] *Манин Ю.И.* Доказуемое и недоказуемое. — М.: Советское радио, 1979. — 168 с.

[135] *Марьянович А. Т.* Эрратология, или Как избежать наиболее неприятных ошибок при подготовке диссертации. — М.: Вузовская книга, 1999. — 162 с.

[136] Математизация знаний и научно-технический прогресс. — Киев: Наукова думка, 1975. — 255 с.

[137] Математика в афоризмах, цитатах, высказываниях / сост. Н. А. Вирченко. — Киев: Вища школа, 1983. — 278 с.

[138] *Матросов А.* Maple 6. Решение задач высшей математики и механики. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 528 с.

[139] *Меньших Н. В.* Подготовка к оформлению рукописи. — Домодедово: ВИПК МВД России, 1999. — 36 с.

[140] *Меткалф М., Рид Дж.* Описание языка программирования Фортран-90 / Пер. с англ. — М.: Мир, 1995. — 302 с.

[141] Методические материалы по организации труда начинающих исследователей: аспирантская школа по НОТ в науке. — Новосибирск: Наука, 1969. — 127 с.

[142] Методические указания по работе над кандидатской диссертацией по техническим наукам для соискателей ученых степеней и аспирантов всех форм подготовки / сост. А. Т. Ашеров и др. — Харьков: УЗПИ, 1988. — 64 с.

[143] Методология, методы и психология научного исследования: Учеб. пособие. — Тверь: ТГУ, 1995. — 38 с.

[144] *Мигдал А.* Поиски истины. — М.: Молодая гвардия, 1983. — 239 с.

[145] *Мигдал А. Б.* Как рождаются физические теории. — М.: Педагогика, 1984. — 128 с.

[146] *Мильчин А. Э., Чельцова Л. К.* Справочник издателя и автора. Редакционно-издательское оформление издания. — М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2003. — 800 с.

[147] *Мильчин А. Э.* Издательский словарь-справочник. — М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2003. 560 с.

[148] *Мину М.* Математическое программирование. Теория и алгоритмы / Пер. с франц. — М.: Наука, Физмат, 1990. — 488 с.

[149] Модели и методы теории логистики / под ред. В. С. Лукинского. — СПб.: Питер, 2007. — 448 с.

[150] *Моисеев Н. Н.* Алгоритмы развития. — М.: Наука, 1987. — 304 с.

[151] *Моисеев Н. Н.* Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990. — 351 с.

[152] *Морозов А.* Программист. — М.: Молодая гвардия, 1979. — 303 с.

[153] *Москвин Б. В.* Теория принятия решений: Учебник. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2005. — 383 с.

[154] Мысли о науке. — Кишинев: Штиница, 1973. — 150 с.

[155] *Мусаев Р. М.* Будущему кандидату технических наук. — Махачкала: 1990. — 78 с.

[156] Наука и общество: Сб. ответов на анкету. — М.: Знание, 1977. — 192 с.

[157] Научное творчество / Под ред. С. Р. Микулинского и М. Г. Ярошевского. — М.: Наука, 1969. — 446 с.

[158] Нечеткие и гибридные системы: теория и практика / Под ред. Н. Г. Ярушкиной. М.: Физматлит, 2007. — 208 с.

[159] *Ницше Ф.* Так говорил Заратустра / Пер. с нем. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 302 с.

[160] *Новиков А. М.* Докторская диссертация? — М., 1999. — 119 с.

[161] *Нольден М.* Ваш первый выход в Интернет / Пер. с нем. — СПб.: ИКС, 1996. 240 с.

[162] Основы научных исследований: Учебник / Под ред. В. И. Крутова и В. В. Попова. М.: Высшая школа, 1989. — 400 с.

[163] Основы современных компьютерных технологий. — СПб.: КОРОНА Принт, 2005. 672 с.

[164] *Очков В. Ф.* Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. — М.: КомпьютерПресс, 1998. — 384 с.

[165] *Очков В. Ф.* Mathcad 8. — М.: КомпьютерПресс, 1999. — 522 с.

[166] *Парфенов И. И., Парфенова М. Я., Гущин Ю. Г.* Интеллектуальная информационная технология как элемент научного творчества // Приложение к журналу «Информационные технологии» № 2/2007.

[167] Педагогика высшей школы: Учеб. пособие. — Л.: ЛГПИ им. А. И. Герцена, 1974. 116 с.

[168] *Пекелис В.* Твои возможности, человек! — М.: Знание, 1978. — 208 с.

[169] *Петров А. Е.* Тензорная методология в теории систем. — М.: Радио и связь, 1985. — 152 с.

[170] *Петров М. К.* Самосознание и научное творчество. — Ростов-н/Д: РГУ, 1992. 268 с.

[171] *Петухов Г. Б.* Методологические основы научного и делового общения. К проблеме коммуникации в конфликтных ситуациях: Методическое пособие. – СПб., 1996. – 106 с.

[172] *Петухов Г. Б., Якунин В. И.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. — М: АСТ, 2006. 504 с.

[173] Подготовка и защита диссертационных работ (рекомендации соискателям ученых степеней). — Курск: Гос. медицинский университет, 2002. — 132 с.

[174] Положение о порядке присуждения ученых степеней // Бюлл. ВАК, 2011, № 6.

[175] *Полонников Р. И.* Информационные меры при исследовании процессов в биотехнических системах // Изв. ВУЗ. — Приборостроение. — 2001. — т. 4, № 4. — С. 3–9.

[176] *Понтекорво Б.* Энрико Ферми. — М.: Знание, 1971. — 48 с.

[177] *Постников А. Г.* Культура занятий математикой. — М.: Знание, 1975. — 64 с.

[178] *Потемкин В. Г.* Система MATLAB 5 для студентов: Справ. пособие. — М.: Диалог-МИФИ, 1998. — 314 с.

[179] Преподавателю о преподавании математики: Метод. пособие / сост. С. Н. Лащенова. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1988. — 101 с.

[180] *Прибрам К.* Языки мозга: экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1975. — 464 с.

[181] *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

[182] *Приходько П. Т.* Тропой науки. — Новосибирск: Наука, 1965. — 144 с.

[183] *Приходько П. Т.* Азбука исследовательского труда. — Новосибирск: Наука, 1979. — 93 с.

[184] *Прудников А. П., Брычков Ю. А., Маричев О. И.* Интегралы и ряды. — М.: Наука, 1981. — 800 с.

[185] *Пумпянский А. Л.* Чтение и перевод английской научно-технической литературы (лексика и грамматика). — М.: изд-во АН СССР, 1961. — 303 с.

[186] Работа автора по подготовке рукописи к изданию. — Л.: ЛИИЖТ, 1991. — 50 с.

[187] Работа с литературой и оформление рукописи. — М.: РУДН, 2004. — 44 с.

[188] *Райзберг Б. А.* Диссертация и ученая степень: Пособие для соискателей. — М.: Инфра-М, 2004. — 414 с.

[189] *Ракитов А. И.* Философские проблемы науки: системный подход. — М.: Мысль, 1977. — 270 с.

[190] *Регирер Е. И.* О профессии исследователя в точных науках. — М.: Наука, 1966. — 167 с.

[191] *Регирер Е. И.* Развитие способностей исследователя. — М.: Наука, 1969. — 230 с.

[192] Рекомендации по подготовке к защите диссертации в форме научного доклада. Мин-во электронной промышленности, 1986. — 7 с.

[193] *Родный Н. И.* Очерки по истории и методологии естествознания. — М.: Наука, 1975. — 422 с.

[194] *Рузавин Г. И.* Математизация научного знания. — М.: Знание, 1977. — 64 с.

[195] Рустем Османов: неистовый мастер / Сб. воспоминаний. — М.: ИЧП «Гео», 1993. — 63 с.

[196] *Рыжиков Ю. И.* Управление запасами. — М.: Наука, 1969. — 344 с.

[197] *Рыжиков Ю. И.* О показательной аппроксимации распределения времени обслуживания // Изв. АН СССР, Техн. кибернетика. — 1971. — № 2. — С. 71–77.

[198] *Рыжиков Ю. И.* Расчет восстанавливаемого набора запасных частей с учетом погрешности исходных данных // Экономика и математ. методы. — том IX, 1973. Вып 5. — С. 976–982.

[199] *Рыжиков Ю. И.* Расчет системы массового обслуживания с порогом включения и разогревом // Изв. АН СССР, Техн. кибернетика. — 1974. — № 6. — С. 125–131.

[200] *Рыжиков Ю. И.* Машинные методы расчета систем массового обслуживания: Учеб. пособие. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1979. — 177 с.

[201] *Рыжиков Ю. И.* Эффективность и эксплуатация программного обеспечения ЭЦВМ: Учеб. пособие. — МО РФ, 1985. — 263 с.

[202] *Рыжиков Ю. И.* Тестирование функционально избыточных пакетов программ // Программирование. — 1986. — № 1. — С. 22–29.

[203] *Рыжиков Ю. И.* Три метода расчета временных характеристик разомкнутых систем массового обслуживания // Автоматика и телемеханика. — 1993. — № 3. С. 127–133.

[204] *Рыжиков Ю. И.* Подготовка рукописей в издательской системе LaTeX с графическими средствами: Учеб. пособие. — СПб.: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1996. — 111 с.

[205] *Рыжиков Ю. И.* Программирование на Фортране PowerStation для инженеров. — СПб.: КОРОНА Принт, 1999. — 159 с.

[206] *Рыжиков Ю. И.* Решение научно-технических задач на персональном компьютере. — СПб.: КОРОНА Принт, 2000. — 271 с.

[207] *Рыжиков Ю. И.* Информатика. Лекции и практикум. — СПб.: КОРОНА Принт, 2000. — 255 с.

[208] *Рыжиков Ю. И.* Теория очередей и управление запасами. — СПб.: Питер, 2001. — 376 с.

[209] *Рыжиков Ю. И.* Работа над диссертацией по техническим наукам: Учеб. пособие. — СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 2001. — 298 с.

[210] *Рыжиков Ю. И.* Работа над диссертацией по техническим наукам: 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 512 с.

[211] *Рыжиков Ю. И.* Имитационное моделирование. Теория и технологии. — СПб.: КОРОНА Принт, 2004. — 380 с.

[212] *Рыжиков Ю. И.* Современный Фортран. — СПб.: КОРОНА Принт, 2004. — 288 с.

[213] *Рыжиков Ю. И.* Вычислительные методы. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 400 с.

[214] *Рыжиков Ю. И.* Имитационное моделирование: Курс лекций. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2007. — 125 с.

[215] *Рыжиков Ю. И.* Логистика, очереди и управление запасами: Учебное пособие. СПб.: Гос. университет аэрокосмического приборостроения, Институт информатики и автоматизации РАН. — 2011. — 477 с.

[216] *Савва Л. И., Леднова И. В.* Профессионально-личностное развитие аспирантов, соискателей и докторантов. — Магнитогорск: МГТУ, 2006. — 60 с.

[217] *Садовничий В. А. и др.* Университетское образование: приглашение к размышлению. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 352 с.

[218] *Седов Л. И.* Размышления о науке и об ученых. — М.: Наука, 1980. — 440 с.

[219] *Селетков С. Г.* Соискателю ученой степени. — Ижевск: Изд-во Ижевского ГТУ, 1999. — 174 с.

[220] *Селье Г.* От мечты к открытию / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1987. — 368 с.

[221] *Сенека Л. А.* Нравственные письма к Луцилию / Пер. с лат. — М.: Наука, 1977. — 384 с.

[222] *Сенкевич М. П.* Литературное редактирование научных произведений: Учеб. пособие для редакторских факультетов полиграфических институтов. — М.: Высшая школа, 1970. — 272 с.

[223] Словарь-справочник автора. — М.: Книга, 1979. — 301 с.

[224] Слово о науке. Афоризмы, изречения, цитаты. — М.: Знание, 1986. — 287 с.

[225] *Смолицкий Х. Л., Рыжиков Ю. И.* Вычислительная математика. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1976. — 144 с.

[226] *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем. — М.: Высшая школа, 1998. — 320 с.

[227] *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем: Практикум. — М.: Высшая школа, 1999. — 224 с.

[228] *Солганик Г. Я.* Стилистика русского языка: Учеб. пособие. — М.: Дрофа, 1996. 272 с.

[229] *Спивак М.* Восхитительный TEX: руководство по комфортному изготовлению научных публикаций в пакете $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$-TEX / Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — 288 с.

[230] *Сухарев Ю. Н.* Формирование интеллектуального потенциала в научных профессиях. — СПб.: Центр гуманитарных исследований СПб. ГУ, 1993. — 112 с.

[231] Stylus for Windows: версия 2.0. Система автоматического перевода: Руководство пользователя. — СПб.: Promt, 1994. — 140 с.

[232] Тенденции развития кадрового потенциала российской науки. — М.: Ин-т проблем развития науки РАН, 2008. — 56 с.

[233] Технические основы эффективности ракетных систем / Под ред. Е. Б. Волкова. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.

[234] *Тихонов А. Н., Арсенин В. Я.* Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, Физмат, 1979. — 288 с.

[235] *Тундыков Ю. Н.* Этика научного творчества. — М.: Знание, 1976. — 64 с.

[236] *Тюрин Ю. Н., Макаров А. А.* Анализ данных на компьютере. — М.: Финансы и статистика, 1995. — 384 с.

[237] *Уемов А. И.* Логические ошибки. Как они мешают правильно мыслить. — М.: Госполитиздат, 1958. — 119 с.

[238] *Узюмов В. Л., Гусева Е. В.* Как работать над кандидатской диссертацией. — Владимир: ОКНИИ ВНИИЗЖ, 1999. — 165 с.

[239] *Уман А. И.* Как обосновать актуальность темы диссертации // Образовательные технологии, 2009, № 1. — С. 36–43.

[240] Ученые о науке и ее развитии: Сб. статей. — М.: Наука, 1971. — 259 с.

[241] *Федотов В. В.* Техника и организация умственного труда. — Минск: Вышэйшая школа, 1983. — 144 с.

[242] *Филатова Е. С.* Соционика для всех. Наука общения, понимания и согласия. — СПб.: Б&К, 1999. — 276 с.

[243] *Филлипс Э. М.* Как написать и защитить диссертацию: Практ. руководство / Пер. с англ. — Челябинск: Урал, 1998. — 285 с.

[244] Философия: Учеб. пособие для студентов вузов / Под ред. Ю. А. Харина. — Минск: ТетраСистемс, 2000. — 416 с.

[245] *Фрадков А. Л.* Как опубликовать хорошую статью и отклонить плохую. Заметки рецензента // Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 10. — С. 149–160.

[246] *Францифоров Ю. В., Павлова Е. П.* От реферата к курсовой, от диплома к диссертации: Практическое руководство по подготовке, изложению и защите научных работ. — М.: Книга сервис, 2004. — 128 с.

[247] *Френкель Я. И.* На заре новой физики. — Л.: Наука, 1970. — 384 с.

[248] *Харди Г. Г.* Апология математика. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2000. — 104 с.

[249] *Хеллерман Х., Смит А.* АПЛ–360: программирование и применения / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1982. — 231 с.

[250] *Хомская Е. Д.* Нейропсихология: Учебник для вузов. — М.: МГУ, 1987. — 288 с.

[251] *Худяков В. Л.* Ученый и его творческий мир. — Л.: Наука, 1971. — 192 с.

[252] *Хуторской А. В.* Система обучения Аристотеля // Школьные технологии, 2009, № 1. — С. 24–28.

[253] *Хэссет Дж.* Введение в психофизиологию / Пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 248 с.

[254] *Чеботарев Н. Г.* Математическая автобиография // Успехи математ. наук, 1948, вып. 4(20). — С. 3–66.

[255] *Черничко Б. И., Баринов В. И.* Подготовка и аттестация научных кадров: Метод. пособие для соискателей ученых степеней. — М.: ВНИИ ГОЧС, 1996. — 159 с.

[256] *Шевяков Л. Д.* Как работать над диссертацией. — М.: АН СССР, 1960. — 35 с.

[257] *Шноль С. Э.* Герои, злодеи, конформисты российской науки. — М.: 2001. — 894 с.

[258] *Шопенгауэр А.* Афоризмы и максимы / Пер. с нем. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. 288 с.

[259] *Шрайбер Т. Дж.* Моделирование на GPSS / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.

[260] *Шубников А. В., Копцик В. А.* Симметрия в науке и искусстве. — М.: Наука, 1972. — 339 с.

[261] *Шустрова Л. В.* Практическая стилистика русского языка: Учеб. пособие. — М.: Новая школа, 1994. — 64 с.

[262] *Юсупов Р. М.* Наука и национальная безопасность. 2-е изд. — СПб.: Наука, 2011. — 369 с.

[263] *Юшкевич А. П.* Леонард Эйлер. — М.: Знание, 1982. — 64 с.

[264] *Яглом И. М.* Математика и реальный мир. — М.: Знание, 1978. — 64 с.

[265] *Coffman E. G., Denning P. J.* Operating systems theory. — Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1973. — 331 pp.

[266] Lohvater's Russian—English dictionary on the mathematical sciences / Ed. by R. P. Boas. — Providence, Rhode Island: American Math. Society, 1990. — 342 pp.

[267] *Sohn S. Y., Han H. K., Jeon H. J.* Development of an Air Force Warehouse Logistics Index to Continuously Improve Logistics Capability // Eur. J. of OR, v. 183(2007), P. 148–161.

[268] *Wierzbicki A. P.* Modelling as a Way of Organizing Knowledge // Eur. J. of OR, v. 176(2007), P. 610-635.