Ю. И. РЫЖИКОВ

РАБОТА НАД ДИССЕРТАЦИЕЙ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

2-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®

РАБОТА НАД ДИССЕРТАЦИЕЙ
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

2-е издание

Издание второе,
исправленное и дополненное

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2007

УДК 001
ББК 30
Р94

Рыжиков Ю. И.

Р94 Работа над диссертацией по техническим наукам,
2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 512 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-0138-5

Книга представляет собой свод методических рекомендаций по написанию и оформлению диссертаций. В ней приведены требования к ученым и к 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.

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	*Григорий Добин*
Компьютерная верстка	*Юрия Рыжикова*
Корректор	*Ксения Вальская*
Дизайн обложки	*Елены Беляевой*
Зав. производством	*Николай Тверских*

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

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 31.05.07.
Формат 70×100 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 41,28.
Тираж 1000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию
№ 77.99.02.953.Д.006421.11.04 от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ОАО "Техническая книга"
190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

ISBN 978-5-9775-0138-5

© Рыжиков Ю. И., 2007

Оглавление

Предисловие . . . 10

От автора . . . 12

1. Аттестация научных кадров . . . 18
   1.1. Наука и общество . . . 18
   1.2. Подготовка научно-педагогических кадров . . . 20
      1.2.1. Требования к ученому . . . 22
      1.2.2. Психологические типы . . . 24
      1.2.3. Отбор в науку . . . 31
      1.2.4. Обучение научному творчеству . . . 33
   1.3. Диссертации и требования к ним . . . 36
      1.3.1. История вопроса . . . 36
      1.3.2. Общие требования . . . 37
      1.3.3. Докторские диссертации . . . 39
      1.3.4. Кандидатские диссертации . . . 40
      1.3.5. Диссертация в форме доклада . . . 40
      1.3.6. Современные тенденции . . . 42
   1.4. Общенаучные понятия . . . 43
      1.4.1. Определение науки . . . 43
      1.4.2. Наука и философия . . . 44
      1.4.3. Современная наука . . . 45
      1.4.4. Критерии научности . . . 46
      1.4.5. Общенаучные термины . . . 47
   1.5. Результаты . . . 58
      1.5.1. Научный результат . . . 58
      1.5.2. Научная значимость . . . 61
      1.5.3. Достоверность . . . 61
      1.5.4. Творческая новизна . . . 63
      1.5.5. Практические результаты . . . 64

2. Психология научной работы . . . 66
   2.1. Специфика научной деятельности . . . 66
   2.2. Мотивация . . . 68

2.3. Обращение к докторантам ... 74
2.4. Ученик, Учитель, коллектив ... 78
2.5. Работа в коллективе ... 85
2.5.1. Специфика коллективной работы ... 85
2.5.2. «Болезни» коллектива ... 87
2.5.3. Обсуждение результатов ... 89
2.6. Логика и интуиция ... 91
2.6.1. Психофизиологические основы ... 92
2.6.2. Логическое мышление ... 94
2.6.3. Образное мышление ... 96
2.6.4. Подсознание ... 98
2.6.5. Интуиция и математическое открытие ... 99
2.6.6. Эстетика как критерий истины ... 106
2.6.7. Математика и музыка ... 110
2.6.8. Эстетика программирования и оформления работы ... 112
2.6.9. Тренировка интуиции ... 114
2.7. Этика ученого ... 116
2.7.1. Общие соображения ... 116
2.7.2. Ученый и объект познания ... 118
2.7.3. Ученый и коллеги ... 119
2.7.4. Ученый и общество ... 122

3. Организация работы ... 123
3.1. Рабочее место ... 123
3.2. Режим дня ... 125
3.3. Направление, проблема, цель ... 127
3.4. Работа с литературой ... 133
3.4.1. Поиск ... 134
3.4.2. Справочные издания ... 135
3.4.3. Новейший сервис ... 136
3.4.4. Личные каталоги ... 137
3.4.5. Объекты и цели чтения ... 137
3.4.6. Методика чтения ... 139
3.4.7. Иностранные языки ... 142
3.4.8. Накопление тезауруса ... 143
3.5. Семинары и конференции ... 146
3.6. Интернет ... 154
3.7. Тема и цели диссертации ... 160
3.8. Планирование работы над диссертацией ... 163
3.9. Типовой план диссертации ... 168

4. Выполнение работы ... 170
4.1. Принципы научной разработки ... 170
4.2. Физический эксперимент ... 179
4.2.1. Виды и содержание эксперимента ... 180
4.2.2. Методика эксперимента ... 180

4.2.3. Планирование экспериментов ... 181
4.2.4. Техническое оснащение ... 187
4.2.5. Средства измерения ... 189
4.2.6. Проведение эксперимента ... 189
4.2.7. Представление результатов эксперимента ... 190
4.3. Математический эксперимент ... 191
4.3.1. Постановка задачи ... 191
4.3.2. Классификация математических моделей ... 197
4.3.3. Прикладное программирование ... 200
4.3.4. Тестирование программной системы ... 201
4.4. Написание основных глав ... 205
4.4.1. Общие рекомендации ... 205
4.4.2. Стандартные требования к оформлению ... 207
4.4.3. Методика подготовки компиляций ... 208
4.4.4. Содержание основных глав ... 209
4.4.5. Структуризация текста ... 211
4.4.6. Абзацы ... 213
4.4.7. Перечни ... 214
4.4.8. Авторство ... 215
4.4.9. Диссертация и ее предшественники ... 216
4.4.10. Терминология ... 217
4.4.11. Формулировки ... 218
4.4.12. Числовые данные и размерности ... 222
4.4.13. Цитирование ... 223
4.4.14. Сокращения ... 224
4.4.15. Таблицы и рисунки ... 225
4.5. Вспомогательные разделы ... 226
4.5.1. Выводы и заключение ... 226
4.5.2. Введение ... 227
4.5.3. Список литературы ... 228
4.5.4. Приложения ... 229
4.6. Работа над изобретениями ... 230
4.6.1. Базовые понятия ... 230
4.6.2. Системный подход ... 233
4.6.3. Инварианты и подобие ... 234
4.6.4. Устойчивость ... 235
4.6.5. Оптимизация ... 235
4.6.6. Тензорные методы ... 236
4.6.7. Психология изобретательства ... 236
4.6.8. Групповая работа ... 237

5. Язык и стиль диссертации ... 238
5.1. Литературные требования ... 238
5.2. Грамотность ... 240
5.3. Стиль ... 241
5.4. Математика и поэзия ... 255

5.5. Редактирование рукописи ... 259
5.6. Как нельзя писать книги ... 261

6. Набор рукописи ... 269
6.1. Проблема набора ... 269
6.2. Введение в LaTeX ... 272
6.2.1. Структура LaTeX-программы ... 274
6.2.2. Набор текста ... 275
6.2.3. Процесс сборки ... 276
6.3. Компиляция, отладка, распечатка ... 277
6.3.1. Запуск компилятора ... 277
6.3.2. Диагностика компилятора ... 277
6.3.3. Действия автора при отладке ... 278
6.3.4. Просмотр DVI-файла ... 279
6.3.5. Распечатка DVI-файла ... 280
6.4. Математический набор ... 281
6.4.1. Моды и шрифты ... 281
6.4.2. Основные математические обозначения ... 281
6.4.3. Простейшие формулы ... 281
6.4.4. Окружения для формул ... 285
6.4.5. Макросредства набора ... 287
6.5. Таблицы ... 288
6.5.1. Простейшие таблицы ... 289
6.5.2. Графленые таблицы ... 290
6.6. «Графические» проблемы ... 292
6.6.1. Средства рисования ... 292
6.6.2. Средства вставки ... 292
6.6.3. Плавающие объекты ... 293
6.6.4. Выделение места ... 294
6.7. Обзор LaTeX 2_ε ... 294
6.7.1. Общая структура ... 294
6.7.2. Стандартные классы ... 295
6.7.3. Стандартные пакеты ... 296
6.7.4. Дополнительное матобеспечение ... 296
6.7.5. Схема выбора шрифтов ... 297
6.7.6. Частные улучшения ... 298
6.8. Введение в MiKTeX ... 299
6.8.1. Состав и возможности ... 299
6.8.2. Редактор *WinEdt* ... 299
6.8.3. Превьюер YAP ... 301
6.8.4. Набор текста ... 302
6.8.5. Набор математики ... 302
6.8.6. Включение рисунков ... 303
6.8.7. Подготовка слайдов ... 303
6.8.8. Компиляция и отладка документа ... 304
6.8.9. Перевод в PDF и получение «зеркала» ... 304

6.9. Gnuplot ... 305
6.9.1. Быстрое введение ... 305
6.9.2. Вывод кривых ... 309
6.9.3. Функции ... 310
6.9.4. Линии и символы ... 311
6.9.5. Файлы данных ... 313
6.9.6. Трехмерные графики ... 314
6.9.7. Оформление ... 315
6.9.8. Тип терминала ... 317
6.10. Visio — инструмент для схем ... 318
6.10.1. Общая характеристика ... 318
6.10.2. Меню и панель инструментов ... 321
6.10.3. Начало работы ... 324
6.10.4. Выбор трафарета ... 325
6.10.5. Выполнение схем ... 327
6.10.6. Редактирование фигур ... 330
6.10.7. Редактирование схем ... 332
6.10.8. Создание трафаретов и стандартов ... 334
6.10.9. Страницы и подложки ... 335
6.10.10. Распечатка схем ... 336
6.10.11. Экспорт и импорт файлов ... 336

7. Инструментарий теоретика ... 338
7.1. Формальная логика ... 339
7.1.1. Требования к правильным рассуждениям ... 339
7.1.2. Дедуктивные рассуждения ... 344
7.1.3. Индуктивные рассуждения ... 350
7.1.4. Аналогии ... 351
7.1.5. Аргументация и опровержение мнений ... 352
7.2. Математические проблемы ... 354
7.2.1. Особенности прикладной математики ... 354
7.2.2. Влияние ограниченности разрядной сетки ... 356
7.2.3. Аппроксимации функций ... 356
7.2.4. Вычисление определенных интегралов ... 357
7.2.5. Задачи линейной алгебры ... 358
7.2.6. Решение нелинейных уравнений ... 359
7.2.7. Проблема минимизации ... 359
7.2.8. Дифференциальные уравнения ... 360
7.3. Математическая статистика ... 361
7.3.1. Базовые понятия ... 362
7.3.2. Выборка и ее представления ... 364
7.3.3. Основные задачи математической статистики ... 365
7.3.4. Временные ряды ... 367
7.3.5. О пакетах статистических программ ... 368
7.4. Задачи исследования операций ... 369
7.5. Имитационное моделирование ... 371

7.5.1. Идея метода ... 371
7.5.2. Понятие о методах понижения дисперсии ... 375
7.5.3. Языки моделирования ... 376
7.5.4. Понятие о GPSS ... 378
7.5.5. Имитация в диссертации ... 387
7.6. Универсальные математические пакеты ... 387
7.6.1. Типовые возможности пакета ... 389
7.6.2. Управление работой пакета ... 392
7.6.3. Предварительное сопоставление ... 393
7.6.4. Сравнительное тестирование пакетов ... 395
7.6.5. Еще примеры многокомпонентного оценивания ... 404
7.6.6. Технология создания лучевых диаграмм ... 407
7.7. Языки программирования ... 409
7.7.1. Необходимость программирования ... 409
7.7.2. Многоязычие ... 409
7.7.3. Проблемы программирования ... 410
7.7.4. Свойства современных языков программирования ... 412
7.7.5. Объектно-ориентированное программирование ... 419
7.7.6. Требования к языкам ... 420
7.7.7. Технологии производства программ ... 423
7.7.8. Язык ПЛ/1 ... 424
7.7.9. АПЛ ... 425
7.7.10. Паскаль ... 427
7.7.11. Язык С ... 428
7.7.12. Форт ... 430
7.7.13. Модула 2 ... 430
7.7.14. Ада ... 431
7.7.15. Алгол 68 ... 436
7.7.16. Фортран ... 436
7.8. Логическое программирование ... 442

8. На финишной прямой ... 444
8.1. Заключение совета ... 444
8.2. Публикации ... 451
8.3. Итоговый семинар ... 454
8.4. Написание автореферата ... 459
8.5. Выездные семинары ... 460
8.6. Подготовка защиты ... 461
8.6.1. Документы ... 461
8.6.2. Ответы на замечания ... 463
8.6.3. Организация защиты ... 463
8.7. Последняя репетиция ... 464
8.8. Защита ... 465
8.9. Трудности ... 467
8.10. После защиты ... 469

9. Научная автобиография . . . 471
9.1. Школьные годы . . . 472
9.2. Военно-морское училище . . . 473
9.3. Научно-исследовательский институт . . . 475
9.4. Аспирантура . . . 477
9.5. Докторская диссертация . . . 481
9.6. Свободный поиск . . . 483
9.6.1. Законы сохранения . . . 483
9.6.2. Многочлены Лагерра . . . 486
9.6.3. Итерационный расчет фазовых систем . . . 487
9.6.4. Матрично-геометрическая прогрессия . . . 489
9.6.5. Гиперэкспоненциальная аппроксимация . . . 490
9.6.6. Сети обслуживания . . . 492
9.6.7. Временные характеристики систем обслуживания . . . 494
9.7. Новая жизнь . . . 497
9.8. Виток спирали . . . 499
9.9. Информатика и науковедение . . . 500
9.10. Резюме . . . 501

Литература . . . 503

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 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 многолетний опыт члена диссертационных Советов с почти 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:

- 42 года преподает программирование и является автором разработки, включенной в Государственный фонд алгоритмов и программ;
- выпустил два учебника по современному Фортрану и нетривиальный учебник по информатике (изд-во «КОРОНА принт»);
- является специалистом мирового уровня в области управления запасами и численных методов теории очередей («Управление запаса-

ми» — 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 программного комитета Всероссийских конференций по имитационному моделированию.

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.

Методические советы автора помогут привить научной молодежи необходимые ученому качества творческой одержимости, добросовестности, скромности, уважения к чужим результатам, эстетического восприятия научных и общечеловеческих ценностей; обращают внимание на психологические аспекты ее деятельности и проблемы научной этики. Его предложения и советы убедительно иллюстрируются приведенной научной автобиографией, а сама книга является образцом реализации требований к научной публикации. По моему убеждению, она должна стать настольной как для соискателей ученых степеней, так и для их научных руководителей, будет широко использоваться (и уже используется в нашем институте) при подготовке аспирантов.

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. 476-477), и выберет путь служения науке.

Директор Санкт-Петербургского института информатики
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 [140] [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 [99],

[1] При ссылках на [140] подразумевается его корректировка материалами последующих Бюллетеней ВАК до №1 за 2007 г. включительно.

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 [16, с. 134]. Пособие Б. А. Райзберга [150] 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) 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 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.

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 должно 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 — 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 естество-

знания 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 [116, 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, и книга будет им нужна.

Не для всех специальностей записано, но 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. Достаточно вспомнить, что астрономические наблюдения позволили создать необходимый для земледельческих работ календарь, геометрия — упорядочить землепользование, механика — строить здания, ирригационные сооружения, подъемные и метательные механизмы. Наука развивалась под действием как внешних, так и внутренних стимулов: «В старину задавали математические задачи боги (удвоение объема кубического Дельфийского жертвенника). Далее наступил второй период, когда задачи задавали полубоги: Ньютон, Эйлер, Лагранж. Теперь третий период, когда задачи задает практика» (П. Л. Чебышев, [116, с. 34]). В связи с этим уместно вспомнить слова А. М. Ляпунова, посвященные памяти его учителя: «П. Л. Чебышев и его последователи остаются постоянно на реальной почве, руководствуясь взглядом, что только те изыскания имеют цену, которые вызываются приложениями (научными или практическими), и только те теории действительно полезны, которые возникают из рассмотрения частных случаев» [49, с. 43]. Практическая ценность науки признавалась всеми достаточно просвещенными правителями. К примеру, получивший блестящее образование[1] Наполеон полагал [116, с. 31], что «процветание и совершенство математики тесно связаны с благосостоянием государства», и в бытность свою императором делал из этого оргвыводы.

В наши дни научная мысль, подготовленная миллиардами лет истории биосферы, стала силой геологического масштаба [35, с. 51]. Акад.

[1] Он сдавал экзамены Лапласу.

Н. Н. Моисеев предполагает, что «на определенном этапе развития материи значительно ускорятся уже не только процессы земной эволюции, но и процессы, протекающие во всей Солнечной системе» [123, с. 126].

Однако в нашем многострадальном отечестве наука использовалась далеко не на полную мощность. В. И. Вернадский считал, что «крупные неудачи нашей власти — результат ослабления ее культурности: средний уровень коммунистов — и моральный, и интеллектуальный — ниже среднего уровня беспартийных. . . Цвет нации заслонен дельцами и лакеями-карьеристами» [36, с. 603]. Публиковавшиеся данные о росте экономики за советский период вследствие повторного счета оказались завышенными на порядок, накапливалось техническое отставание. Так, в 1980 г. СССР запатентовал за рубежом 1.4% изобретений, тогда как США — 33%, а Швейцария — 40% (ИР, 1989, №1). 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. Здесь отражены и технический уровень, и качество, и наукоемкость («Соц. индустрия», 1989, 28 февраля).

«Присутствие ученого в производстве незаметно, заметно его *отсутствие*», — говорил акад. А. Ю. Ишлинский [179]. Японские специалисты подсчитали, что если бы Советский Союз применял в сталеплавильном производстве те энергосберегающие технологии, которые стали уже стандартными в японской металлургии, то можно было бы закрыть все советские АЭС. Самое же интересное — почти все эти методы впервые были разработаны в СССР («Наука и жизнь», 1990, № 1). О надежности отечественного оборудования свидетельствует тот факт, что наши затраты на ремонты втрое выше, чем в США (цитируется по [126]).

В нашей печати выделяются и обсуждаются связанные между собой объективные причины и кадровые проблемы нынешних трудностей науки. Монополизм наших товаропроизводителей делает их невосприимчивыми к новым идеям, технологиям и разработкам. Оснащенность приборами советских исследователей по стоимости в 4–5 раз ниже, чем в США, а с учетом морального износа — в десятки раз («Правда», 1989, 7 марта). Изобретатели вынуждены насильственно «внедрять» свои предложения. Монопольно присваиваются финансы, научная информация, зарубежные командировки, уникальные материалы и приборы, возможность печататься. Следствием стало отсутствие здоровой конкуренции групп ученых, консерватизм тематики, кадровый застой,

дискриминация новых научных направлений. Но в сравнении с нынешней ситуацией положение науки в те дни можно считать благополучным! 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 бюджете на 2001 г. на науку, как и в предшествующем году, выделено лишь 1.87% от расходуемых средств, в бюджете на 2002 г. — 1.57%. И это при росте расходов на государственное управление в 40% и международную деятельность — аж на 110%!! За 10 лет почти 200 тыс. ученых уехали из России на Запад, а еще 300–350 тыс. проводят в российских НИИ и КБ, включая оборонные, НИР и конструкторские работы по западным заказам. 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» [111, с. 242].

Надежды на возрождение России следует связывать прежде всего с *реанимацией науки*. По Дж. Берналу, наука должна рассматриваться как вторая производная от общественного продукта [62], 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 [36, с. 193]. А. М. Горький также считал, что «сила и богатство народов не в обилии земли, лесов, скота и ценных руд, а в количестве и качестве образованных людей, в любви к знанию, в остроте и гибкости разума» [179]. Нельзя не подивиться в очередной раз мудрости великого писателя земли русской Л. Н. Толстого [116, 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[2]. Как нужен этот интеграл *сегодня*! А в связи с проблемой обороноспособности страны нельзя не вспомнить М. В. Остроградского: «Военное дело само является ничем иным, как одним из важнейших применений математической науки» [116, 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;
- утраты привлекательности научной карьеры и оттока в бизнес способной молодежи[3];
- 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 (компьютерную литературу в подавляющем большинстве 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.

Эти обстоятельства накладываются на глобальный эффект относительного ухудшения «качества» ученых: чем выше их ранг («известный»,

[2]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.

[3]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).

«выдающийся», «великий»), тем медленнее происходит удвоение их количества [128, с. 291].

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. Разумеется, можно полагать, что «термин "ученый" имеет своим денотатом любого человека, являющегося субъектом непосредственного процесса познания (У → С → П) и осуществляющего познавательную деятельность» [27, 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» [112].

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). Забвение завета великого предка привело к тому, что у нас «вместо небольшой группы ученых по призванию появилась профессиональная армия научных работников» — акад. Л. Арцимович [153, с. 25].

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 [39, с. 131].

Акад. И. И. Артоболевский [125] 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 [153] 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 влюб-

ленного». 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[4]) 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. 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». По словам С. Улама [60], фон Нейман «иногда комментировал, обычно иронически, исторические события, придавая своим замечаниям форму математических утверждений. Соль шутки, как правило, заключалась в высказывании, справедливом только для пустого множества. Его шутки иногда могли оценить по достоинству только математики... Энциклопедические познания в области истории питали его взгляды на развитие грядущих событий. Его предсказания как бы носили характер аналитического продолжения».

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

Многие качества творчески одаренной личности имеют обратные стороны, не относящиеся к социально одобряемым (честолюбие, нетер-

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

пимость, индивидуализм) — особенно с точки зрения работы в коллективе как в процессе подготовки диссертации, так и после ее защиты. Ряд авторов со времен Ломброзо упорно подчеркивает связь одаренности с наличием психопатических черт личности. Э. Кречмер отмечает их, в частности, даже у таких сильных людей, как И. В. Гете и О. Бисмарк [128, с. 286]. С такими недостатками приходится мириться — или по возможности регулировать личность.

1.2.2. Психологические типы

В [194, 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. 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 отведено определенное амплуа, и *очень важно как можно раньше его осознать*.

К. Юнг (см. [194, 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.

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 [194, с. 193].

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[5]. *Соционика* [194] сопоставляет эти категории с перечисленными выше психическими функциями. В табл. 1.1 приведена сводка соционических функций. 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 продуктивным, или творческим. Это средство реализации программы вовне. *Третий* канал обеспечивает согласие с миром и самим собой. Помещенная

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

в него функция наиболее уязвима извне, что дает основание называть его каналом наименьшего сопротивления (КНС). По *четвертому* каналу человек в наибольшей степени внушаем, 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.

Таблица 1.1. 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

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 [194] приводится классификация 16 основных типов — с собственными именами характерного представителя.

Логико-интуитивный интроверт (ЛИИ — «Робеспьер») комбинирует функции {MI, EO, SO, TO}, наиболее желательные для ученого. Приведем (с некоторыми сокращениями) его психологический портрет [194, с. 89–92].

Общие внешние признаки. Во внешнем облике ЛИИ наиболее характерным является астенический склад лица и фигуры, часто — удлиненный нос.

Манера поведения чаще всего мягкая, сдержанная и отчужденная, если не затрагивать его главные интересы. В противном случае может проявить резкость и категоричность, неожиданные для окружающих. Как правило руководствуется в своих поступках высокими нравственными нормами, которые, однако, не афиширует.

Характеристика по сильным каналам.

1. *Программа*. Мышление — аналитического склада. Стремится во всем найти логику, построить теорию, систему, модель. Умеет и любит создавать методики, различные классификации. То, к чему он стремится, — идеи, а не факты. Его больше интересуют общие закономерности. Детали для него важны, когда речь идет о том, чтобы построить новую систему. С неуважением относится к ученым, у которых «много эмоций, но мало науки». Любое свое утверждение доказывает и требует того же от других. Стремление к порядку и системе прявляет не только в работе: ЛИИ-турист может сам сконструировать рюкзак согласно своему представлению о целесообразности и уложить его, оптимизируя объем или вес.

По представлениям ЛИИ, в социальной жизни также необходим порядок. Это нередко оборачивается несколько прямолинейным стремлением к справедливости. Может в течение многих лет отстаивать свои принципы невзирая на то, что его оппонент занимает более высокий пост.

2. *Реализация программы* (потенции). Способен глубоко проникать в суть происходящих явлений, особенно если дело касается науки. Быстро оценивает перспективы той или иной области деятельности. Проявляет интерес не только к своей узкой специальности, но и к смежным. Способен найти нестандартное решение своей задачи, применив достижения совсем иных областей науки.

Глубоко освоив основы тех или иных знаний, ЛИИ способен изложить материал сжато и ясно, хотя и не очень красочно.

Авторитарные методы руководства не приемлет, сам старается руководить демократическими методами.

Характеристика по слабым каналам. *Канал наименьшего*

сопротивления — плохо переносит волевое давление. Если не согласен с распоряжением начальника, будет отстаивать свою точку зрения.

Ему трудно выполнять рутинные, но необходимые дела, однако все запланированное старается довести до конца. Предпочитает размеренную жизнь. Планирует не только свой рабочий день, но и отдых. В течение многих лет способен ежедневно делать зарядку и совершать прогулку перед сном. В одежде придерживается «делового» стиля, подчеркивая скорее профессиональную принадлежность, чем индивидуальные особенности.

Суггестивный канал — эмоциональность. Слабо разбираясь в эмоциональных тонкостях, ЛИИ ведет себя осторожно и сдержанно. Общение предпочитает дистанцированное, не переносит панибратства; не любит излияний и слезных жалоб — предпочитает в нужных случаях оказать конкретную помощь.

Часто он производит впечатление холодного, бесстрастного человека, но это скорее манера поведения, чем сущность натуры. Под маской сдержанности могут скрываться напряженная духовная жизнь и сильные переживания. Годами может носить обиду в душе и с трудом прощает обидчика. Заметно оживляется в беседе с интеллектуальным партнером. По отношению к лицам другого пола ведет себя неуверенно, часто боится проявить свои чувства и выглядеть смешным.

Профессиональные возможности. Благодаря умению найти общие закономерности окружающего мира и создать теоретическое описание их ЛИИ обладает всеми данными для исследовательской аналитической работы. Способность разобраться в запутанных и сложных вопросах, увидеть проблему в целом и четко изложить понятое делает ЛИИ хорошим преподавателем и методистом.

Среди ЛИИ также встречаются люди искусства — чаще всего музыканты, предпочитающие серьезную музыку.

Известные имена: К. Юнг, Н. Амосов, С. Рахманинов, А. Чехов, Д. Шостакович, Е. Мравинский, Г. Уланова, М. Плисецкая, Ф. Дзержинский.

Интуитивно-логический экстраверт (ИЛЭ — «Дон Кихот») также весьма перспективен для занятий наукой. ИЛЭ любит размышлять (это состояние является частью его натуры); удивляет глобальностью своих выводов. С охотой доводит до конца незавершенные теории, изучив предварительно всю имеющуюся литературу. Старается хорошо организовать изученный материал: все разложит по полочкам — причины, следствия, логические переходы.

С насмешкой относится ко всяческим догмам: это могут быть и политика правящей партии, и религиозные культы, и слепая вера в любой авторитет.

Профессиональные возможности: в научной работе и фундаментальных исследованиях.

Среди известных имен ИЛЭ в [194] названы В. Вернадский, Д. Менделеев, Н. Бор, А. Сахаров, С. Прокофьев, М. Ростропович, Ю. Никулин, И. Чурикова, Э. Пиаф, М. Матье.

Более детально структура психики определена в работах основательницы соционики А. Аугустинавичюте. А-модель составлена из двух колец: сознательное (активное, ментальное) и подсознательное (пассивное, витальное). Верхнее включает в себя три активных канала — обязательно с чередующимися по «вертности» элементами, причем содержимое четвертого канала заменяется на противоположное по «вертности». Нижнее кольцо получается зеркальным отражением верхнего относительно горизонтальной оси с инверсией «вертностей». Таким образом, для психики «Дон Кихота» имеем модели, показанные на рис. 1.1.

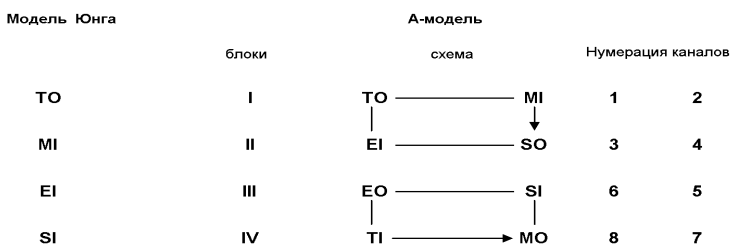

Рис. 1.1. Модели психики «Дон Кихота»

Горизонтальные блоки А-модели в [194] сопоставляются с понятиями психоанализа по Фрейду—Юнгу:

IV — **Ид** (инстинктивное: биологическая сущность, бессознательная тяга к удовольствию);

II — **Суперэго** (социальные нормы и правила поведения, принятые личностью);

III — **Суперид** (коллективное бессознательное — врожденные архетипы психики, наработанные всей историей человечества);

I — **Эго** (формируемое в процессе онтогенеза сознательное начало — посредник между иррациональными стремлениями Ид и требованиями общества, воплощенными в Суперэго).

В одно из колец всегда входит интуиция времени TI, а в другое — интуиция возможностей TO. Кольцо с TI отражает динамический аспект мира, а с TO — статический, причем только один из них воспринимается сознательно. Направления перехода в каждом кольце могут быть по часовой стрелке (+) или против (−) и должны быть противоположными. Направление в активном кольце задается движением от первого ко второму каналу.

В А-модели (нумерация их приведена на рис. 1.1) роль первых трех каналов совпадает с указанной для модели Юнга. Функциями последующих каналов являются:

4 — ориентация на требования окружения и социальную роль;

5 — восприятие помощи от окружения (эквивалентен четвертому в Ю-модели);

6 — активация (восприятие условий);

7 — демонстрация (требует похвалы);

8 — контроль (область действия, на которую отзываются подсознательно).

Каналы 5 и 6 считаются относительно слабыми, 7-й и 8-й — более сильными.

Для руководителей научных коллективов весьма интересен раздел [194] 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 [194] 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».

Неожиданной представляется аттестация М. С. Горбачева как *Наполеона*: «Горбачев, так много сделавший для демократии и свободы, в личном плане — глубоко авторитарный человек. Декларируя на словах коллективный характер принятия решений, он органически не способен выслушивать оппонента. Возражения приводят его в бешенство, он теряет контроль над собой». Этот пример убедительно свидетельствует об ограниченности любой классификации.

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 [50] приведены личный опросник Айзенка для классификации собственной личности и «ключ» к опроснику.

1.2.3. Отбор в науку

Уже 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. Отметим, что 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 [128, 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. [128, 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 [137, 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*.

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. Тесты наказывают глубину, тонкость восприятия и критическую проницательность. Тесты знаний не позволяют оценить потенциальные возможности испытуемых. Все это признается даже сторонниками ЕГЭ. Преимущества тестов состоят лишь в простоте, легкости массового применения и возможности 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* [81, с. 109]. Поэтому оригинальные умы обычно плохо вписывались в систему образования. Декарт, например, считался в школе неспособным. Эдисон был взят отцом из школы, в которой научился только читать. Либиха как последнего ученика в классе исключили за неуспеваемость. В аттестате Гегеля было указано, что он имеет хорошие способности, но знает мало, а в философии может быть назван идиотом. Чехов не получал за сочинения больше тройки [153]. Школьная золотая медаль чаще свидетельствует об усидчивости, чем о яркой и *направленной* одаренности. Впрочем, усидчивость для работника науки обязательна.

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. Иначе и быть не могло, поскольку «статистический ученый» ничего не совершает: в науке все новое создает индивидуальность, а законы ее деятельности являются законами-парадоксами [128, 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. Все больший размах приобретает проведение *олимпиад*, основной целью которых является раннее выявление способностей и которые рассматриваются как реальная альтернатива ЕГЭ.

А. Н. Колмогоров [153, с. 29] был вынужден признать, 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[6]. 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 [142] и С. Рамануджана [106]. 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 [128, с. 16]. А. Н. Колмогоров отмечал, что для многих наших ученых именно знакомство с высшей математикой в школьные годы определило выбор своей специальности [143, с. 12]. Именно так обстояло дело и с С. В. Ковалевской.

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 [137, с. 5]. Однако

[6]В. И. Арнольд, выполняя под руководством А. Н. Колмогорова *студенческую курсовую работу*, получил результат мирового класса — решил одну из проблем Гильберта.

эти зачатки следует развить своевременно и до нужной степени самостоятельного мышления. По П. Л. Капице [81, с. 195], будущему ученому необходимы: умение научно обобщать — индукция; умение применять теоретические выводы для предсказания хода процессов на практике — дедукция; и, наконец, выявление противоречий между теоретическими обобщениями и процессами, происходящими в природе, — диалектика.

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 [114]). Несмотря на то, что многие считают обучение научному творчеству «кощунственной затеей» [47], 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 [137]). 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» [22, с. 38]. Справедливо считается, что творческий ум складывается постепенно благодаря воспитанию неожиданных и необычных реакций на стандартные ситуации и стимулы.

В университетах и институтах с хорошо поставленным процессом обучения студенты уже на первых курсах вовлекаются в сеть научных семинаров, слушают специальные курсы, работают под индивидуальным руководством профессоров и преподавателей [143, с. 26].

Качества творца зарождаются и формируются на ранних этапах обучения. Лишь единицы ценят в этом возрасте движение чистой мысли, ощущают высокое наслаждение самого процесса мышления и радость познания как такового. «Учащийся должен быть активным участником педагогического процесса, с интересом относиться к познанию нового. Это должно его волновать; он должен трепетать перед тем, что соприкасается с величайшими законами природы и овладевает методами практического их использования. Он должен понимать, что пройдет немного времени, и ему самому придется взять в руки прогресс науки, технологий, изобретение новых лечебных средств. И к этому его готовит школа, университет. Страна, лишенная притока свежих сил в науку, изобретательство, творчество, обречена на медленное, но верное интеллектуальное вымирание. Интеллектуальный потенциал в наше время важнее готовых заводов» [49].

Для его развития необходима серьезная перестройка всей системы образования. В частности, необходимо отказаться от выравнивания классов и студенческих групп по самым слабым, которое может дать лишь послушных исполнителей, неспособных к творческому мышлению. 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 [176, 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 безусловно 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 [78]. Того же мнения еще 40 лет назад придерживался акад. Л. Д. Шевяков [205].

Наконец, безусловно 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 следующее:

- 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;
- техническое редактирование научной литературы;
- компьютерный набор научной литературы.

Проблема заключается в наполнении ее конкретным материалом и в качестве преподавания, в особенности обеспечения нетривиальных *практических* занятий. В книге Гордеева [50] приведены краткое описание ТРИЗ — техники решения изобретательских задач (см. разд. 4.6), задания для курсовых работ по дисциплине, 40 приемов устранения технических противоречий и таблица выбора приема в зависимости от изменяемого параметра и ухудшаемых при его изменении характеристик.

Фактически полученных 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 (высшая школа физиков при МИФИ и ФИАН), либо в аспирантуре, либо персональным обучением лаборантов, инженеров исследовательских лабораторий и молодых преподавателей. Несомненным достоинством последнего варианта является возможность непосредственно и *постепенно* перенимать опыт профессионалов. В [147, 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 разнообразных коротких, но *нетривиальных* участках: крутые склоны, каменные и ледовые стенки, трещины, «камины» — и со страховкой. Трудность задачи должна лишь немного превосходить текущие возможности начинающего ученого.

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[7] и доктора наук[8]. Очень интересная и колоритная информация относительно обстановки в ученом мире, внутренней и внешней иерархии содержится в [72], см. также [77].

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

[8]Более подробно об истории вопроса в России и СССР см. [99, с. 6].

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. Эти труды значительно различались по содержанию. Ф. Бэкон [125, с. 78] отмечал: «Те, кто занимались науками, были или эмпириками, или догматиками. Эмпирики, подобно муравью, только собирают и пользуются собранным. Рационалисты, подобно пауку, из самих себя создают ткань. Пчела же избирает средний способ: она извлекает материал из цветов сада и поля, но располагает и изменяет его собственным умением. Не отличается от этого и подлинное дело философии. Ибо она не основывается только или преимущественно на силах ума и не откладывает в сознание нетронутый материал, извлекаемый из естественной истории и из механических опытов, но изменяет его и перерабатывает в разуме. Итак, следует возложить добрую надежду на более тесный и нерушимый союз опыта и рассудка».

С позицией Ф. Бэкона солидарны требования Положения ВАК [140], согласно которому «диссертация должна быть написана единолично, содержать совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, иметь внутреннее единство и свидетельствовать о личном вкладе автора в науку... В диссертации, имеющей прикладное значение, должны быть приведены сведения о практическом использовании полученных автором результатов, а в диссертации, имеющей теоретическое значение, — рекомендации по использованию научных выводов».

Автор одного из первых пособий по работе над диссертациями акад. Л. Д. Шевяков отмечает [205, 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». Диссертации с концентрированной мыслью имеют малый объем и высокую научно-методическую ценность. Дж. Литтлвуд считал [116, с. 131], что в математике работа в две строки вполне может быть признана диссертационной. В [146, с. 107] приводится несколько примеров. В частности, в 1944 г. в Московском энергетическом институте была защищена

докторская диссертация В. Ломоносова «Электромагнитное поле двухпроводной линии» объемом в 23 страницы. К сожалению, такие работы (как и достойные своей фамилии Ломоносовы) весьма редки.

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 специальных методов. Итогом диссертации всегда является *новое знание*. «Предложенные автором решения должны быть строго аргументированы и критически оценены по сравнению с известными решениями (ближайшими аналогами)» [140] по всем аспектам. Безусловно 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 стандартным требованиям к диссертационному исследованию» [140].

Диссертация должна рассматриваться в учреждении, где она выполнена — только там может быть сформировано обоснованное суждение о личном вкладе дисертанта в коллективный, как правило, труд (Бюллетени ВАК № 1 за 2003 г., № 5 за 2005 г.).

Диссертационная работа должна свидетельствовать не только о вкладе в науку, но и о личных качествах соискателя *как ученого*. Поэтому отзывы официальных оппонентов и отзыв руководителя завершаются констатацией того, что диссертант заслуживает присуждения ему 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 (п. 5 постановления Правительства РФ № 258 от 24 марта 2000 г. о Министерстве образования).

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 ВАК (и на диссертационный совет) 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 новое крупное научное достижение;
- решена крупная научная проблема, имеющая важное социально-культурное или хозяйственное значение;
- изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности.

Поскольку *развитие* любого процесса измеряется его скоростью, то вкладом в развитие может быть лишь его *ускорение*[9]. 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)

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

признаком докторской диссертации является получение нового крупного достижения в науке [205, с. 6–7]. 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).

1.3.4. Кандидатские диссертации

От диссертации на степень *кандидата наук* ожидаются:

- решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний;
- научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки, имеющие существенное значение для экономики или обеспечения обороноспособности страны.

Фактически цель кандидатской диссертации — доказать, что диссертант *владеет научным методом* [205, с. 6–7]. Проф. А. Т. Марьянович [114, с. 90] пишет, что «кроме открытий, в науке много почти черновой работы. Умение хорошо ее делать как раз и подтверждается дипломом кандидата наук».

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» [140]. 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 — Бюлл. ВАК № 4, 2006 г. В научном докладе обязательно демонстрируется практическая значимость результатов и

характеризуется степень их внедрения.

Некоторые материалы по организации подобной защиты имеются в [154]. Согласно Положению, разрешение на защиту в форме научного доклада дает экспертный совет ВАК по мотивированному ходатайству диссертационного совета. 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 деятельности 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[10]. За 10 месяцев 2002 г. было выдано лишь 23 разрешения на эту форму защиты.

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. Председатель одного из экспертных советов ВАК Е. А. Климов [86, с. 27] отмечает, что закладывается неприемлемая традиция — публиковать результаты докторской диссертации книгой тиражом в 100 экз. Публикации должны делать соискателя известным научной общественности, а 100 экз. не покрывают даже потребности крупных библиотек!

Тем не менее научная жизнь продолжается. В 2000 г. Президиум ВАК утвердил 4593 докторских диссертации. По сравнению с 1999 г. прирост составил 12% (по кандидатским — 28%). Основная доля прироста по докторским диссертациям пришлась на гуманитарные и общественные науки (27%). 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. 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. Мало работ, опубликованных без соавторов. Внедрение ограничивается единичными образцами и выполняется либо в организации, где работает

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

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» [88] 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, из требований к диссертациям (см. Бюлл. ВАК № 4, 2006 г.) уже изъяты возможности подмены научной значимости какой-либо иной (например экономической), исключены все возможности защиты в подведомственных соискателю организациях. Необходимость минимум 50 публикаций в рецензируемых изданиях практически закрыла «черную дыру», через которую лезли в науку чисто руководящие деятели.

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 [123, с. 164]. В. И. Вернадский рассматривает появление науки как этап *мирового процесса самоорганизации*.

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 [24, с. 7]. «Изнутри» содержание современной науки представляет собой сложную структуру

из взаимосвязанных элементов, среди которых можно выделить научные проблемы, факты, гипотезы, модели, эксперименты и теории. Наука движется вперед со скоростью, пропорциональной массе накопленного знания, что определяет экспоненциальный рост объема информации по времени.

А. И. Ракитов [151] 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 [36] с другой точки зрения выделяет единство науки, ее демократизм и независимость от общественного строя. А. Эйнштейн [100] считал важнейшими свойствами науки *внутреннее совершенство и внешнее оправдание*.

1.4.2. Наука и философия

Для ограничения объема и конкретизации последующих рассуждений существенно зафиксировать различие между философией и наукой. В. И. Вернадский на всем протяжении своей книги [35] (см., например, с. 114) четко проводит это различие и видит его в доказательности и прогностической силе, присущих только науке. Того же мнения придерживался еще Ф. Бэкон [179]: «Мысли философов не дают света — потому что слишком возвышенны».

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 (?) 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» [151, с. 37]. Пожелаем ей того же, чего желал ей А. И. Герцен:

«Философия должна стать не *любовью к знанию*[11], но самим знанием» [192, с. 162], — и вернемся к нашим проблемам.

1.4.3. Современная наука

Тенденции развития сильно математизированных областей знания определены у Н. Бурбаки[12] [116, 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 и 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».

Современное состояние науки характеризуется срастанием разрозненных знаний в единое целое [152, с. 143]. 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). Новая научная технология становится все более «мягкой», плюралистической. Размываются границы между наукой, не-наукой и здравым смыслом [40]. Всерьез обсуждается тезис Л. Мэмфорда: «перспектива цивилизации — не интенсификация производства, а духовная интенсификация человеческой жизни в целом» [40, с. 12]. Последствия этих явлений для технических наук не очевидны, но размышлений заслуживают.

Наука обычно 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 [80, с. 13]: «Фундаментальные знания — это знания не расчетчика, а теоретика; не клерка от науки, а мыслителя. Конкретным

[11] Буквальный перевод термина.

[12] Коллективный псевдоним группы французских математиков переменного состава.

вещам можно выучить; 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».

Прикладная наука направлена на обеспечение осознанной потребности. К ней примыкают *разработки* — систематическое использование результатов фундаментальных и прикладных исследований для создания конкретных объектов, систем, методов, материалов. Четкой разницы между фундаментальной и прикладной работой нет.

Многие открытия стали возможны лишь при появлении новой техники исследования. Есть мнение, что «за каждым новым знаком после запятой скрывается открытие».

1.4.4. Критерии научности

Снова процитируем А. И. Ракитова [151, 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[13], 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

[13]Здравый смысл не следует считать донаучным или вненаучным элементом познания. У него иная область применения, и он развивается вместе с обществом и наукой.

области S;

- получено из S на основе формальных преобразований или содержательной аргументации, либо непротиворечиво присоединяется к S на правах постулата, либо может интерпретироваться как возможный результат наблюдений.

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).

1.4.5. Общенаучные термины

Приведем определения некоторых общенаучных терминов, существенных при работе над диссертацией (см. также [48]).

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 энциклопедический 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, теория Максвелла, теория относительности, квантовая механика [155, 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, 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* [128, с. 397].

Определение — разъяснение содержания понятия. Перечислим общие требования к определению [151, 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 слове «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.

Система есть множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определенную целостность (единство). Системе всегда присуща *эмерджентность* — появление у нее качественно новых свойств, отсутствовавших у элементов. 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 функциональное объяснение и оправдание. 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).

Восприятие объекта как системы зависит от точки зрения. Для астрономов группа звезд, образующих созвездие Ориона, физически не является системой — просто они для земного наблюдателя проецируются на один участок неба.

Системы могут иметь иерархическое 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.

По сложности и размеру системы делятся на большие, сложные и простые. Система называется сложной с *гносеологической* (познавательной) точки зрения, если она требует многомодельности. *Онтологическая* сложность требует наличия хотя бы одного из следующих свойств [16]:

- структурная сложность (количество и разнообразие элементов и связей между ними, иерархических уровней и подсистем);
- сложность функционирования, определяемая перечнем состояний, правилами перехода между состояниями, типом воздействия среды на систему и обратно, степенью неопределенности учитываемых факторов;
- сложность выбора поведения в многоальтернативных ситуациях, которая определяется характером целенаправленности системы и гибкостью ее реакции на заранее неизвестные воздействия;
- сложность развития, определяемая характером соответствующих эволюционных и скачкообразных процессов.

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. 263. 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. Методами познания законов являются 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 [201]. 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, [116, с. 12]). Факты в связи с текущим состоянием данной теории могут классифицироваться на объясненные и необъясненные.

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. С другой стороны, известная книга В. В. Похлебкина «Чай. Его типы, свойства, употребление» (М.: Пищевая промышленность, 1968) в основном заслуживает такого названия, хотя и содержит ряд непростительных ошибок при выходе ее автора за рамки «пищепрома». Достаточно сослаться на его теорию перекипяченной воды (водородные пузыри и обогащение дейтерием), а также заявление о восприятии вкуса и аромата чая... органами осязания (с. 109). В данном случае язык играет роль органа *вкуса*.

Факты выполняют свою роль в познании только тогда, когда они включены в рамки соответствующих *теорий*, открываются их закономерность и происхождение (Г. Гельмгольц). 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 высшая форма организации научного знания, дающая целостное представление (системное знание) о закономерностях и существенных связях в определенной предметной области и служащая ее знаковой моделью. Теорию образует система абстракций, фундаментальных понятий, исходных принципов и законов.

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. Она играет объяснительную и прогностическую роль.

Теория строится на основе идеализированной модели объекта исследования. Ее специфика зависит от системы абстрактных объектов, которую называют *концептуальным ядром* теории. 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[14]. Не сохраняются в науке лишь *пустые* понятия.

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).

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» [114, с. 105][15]. Теория Дирака прекрасно объясняла детали строения атома, а затем неожиданно для ее автора предсказала существование позитрона [155, с. 210].

Наука находится в постоянном поиске обобщающих теорий (элементарных частиц, управления, систем). Лучшей считается та, которая, основываясь на наименьшем числе предпосылок, объединяет наибольшее число фактов, ибо она способна ассимилировать еще большее количество фактов без ущерба для своей собственной структуры. Общность

[14] В 1910-х гг. на совете Принстонского университета известный физик и астроном Джинс активно протестовал против включения в программу подготовки физиков элементов теории групп, утверждая, что эта теория ни одному из физиков никогда не понадобится. Однако уже через 10 лет после замечательных работ Е. Вигнера и Г. Вейля она стала чуть ли не первой из областей математики, используемых физиками-теоретиками [211].

[15] Аналогично можно сформулировать отличие поэзии от прозы.

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 [81, 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. Состоятельность теории проверяют с трех точек зрения: эмпирической (сопоставление теоретических и фактических данных), внутренней (непротиворечивость), метатеоретической (с позиций более общих наук).

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 [130], 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, а не индуктивную.

Гипотеза выдвигается на путях решения проблемы, опирается на факты или разумные соображения и несет в себе заявку на новое знание. 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. 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 [155, с. 282]).

Открытие определяется как крупное достижение в процессе познания природы, в корне меняющее его уровень. Это главный результат деятельности ученого. Создание связанной с открытием концептуальной системы обычно растягивается во времени. Для открытия необходимы социальные и научные предпосылки. Примерами могут служить электротехника, радио, радиоактивность, 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.

Первоначальное оформление новой системы за редкими исключениями, когда ее авторами бывают такие гиганты мысли, как Ньютон и Эйнштейн, отличается от ее редакции на зрелой стадии, когда реализуется вся ее потенция. Обычно новая система содержит реликтовые элементы, и ее создатель не вывел все возможные следствия [155, 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.

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.

Для науковедения (и для начинающих ученых) особый интерес представляет сопоставление открытий разных типов:

- одновременных;
- индивидуальных и коллективных;
- открытий на стыках областей;
- «переноса» и «цепной реакции» в открытиях.

В одновременных открытиях прослеживается влияние индивидуальностей при общности предметного содержания и результата; в коллективных открытиях до некоторой степени нивелируются своеобразие личностных характеристик и предшествующий опыт отдельных исследователей, зато дифференцируются функции генерации идей, планирования, прогнозирования, критики и т. д. При цепной реакции на первый план выступают общие схемы решения ряда проблем, при переносе — специфика предметных областей.

Каждое подлинно научное теоретическое открытие непременно имеет определенный фактический фундамент — иначе неизбежно впадение в натурфилософствование. Эмпирическое открытие на первых порах не содержит в себе объяснение наблюденного факта и ограничивается лишь его констатацией и описанием. Теоретическое же открытие представляет собой обобщение фактов, установление и раскрытие внутренней связи между ними с целью их объяснения и раскрытия сущности.

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, [125, с. 269]). Лейбниц писал Ольденбургу, что создание метода — единственная вещь, которой он придает значение [46, с. 195].

На основе метода для решения более частных задач, для практиков и для специфических условий применения составляются *методики*. Методики теоретического исследования ориентированы на работу со знаковыми объектами.

Проблема — это констатация недостаточности достигнутого уровня знаний для теоретически и практически значимого конкретного случая. Каждый соискатель рискует попасть в сферу действия известного тезиса М. Е. Салтыкова-Щедрина: «Главная задача, которую науки должны преимущественно иметь в виду, есть изучение, каким образом в исполнении начальственных предписаний быть исправным надлежит» («Дневник провинциала»). Но и тогда надо убедиться, что в самом деле не объясняются новые факты, нет средств прогнозирования, расчета оптимальных параметров, режимов использования, оценки полезности и затрат. 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

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. Нетривиальный (по оценке специалистов) перенос известных теоретических результатов на новую предметную область также считается научным результатом, но тогда соискатель не вправе ставить себе в заслугу возможность его применения в иных областях.

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» [49, 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 клас-

са 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;
- критерии оценки исследуемых устройств с учетом показателей 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 [9]:

1. **Постановка проблемы**: обоснование актуальности.
2. **Познание предмета исследования**:
    - Научное обобщение и систематизация материала.

- Открытие новых закономерностей, тенденций, явлений, преимуществ, резервов; выдвижение гипотез.
- Выводы о сущностях, функциях, развитии, связях, противоречиях, причинах, следствиях.
- Определение понятий.
- Структуризация предмета исследования.
- Разработка классификаций.

3. **Методологическое решение проблемы** (на этом уровне практические проблемы еще не решаются):

- Раскрытие концепций.
- Определение основных направлений. Постановка частных проблем.
- Системный подход.
- Разработка комплекса задач, принципов, требований, условий, форм, противоречий и путей их преодоления.
- Выводы по компонентам предыдущего пункта.
- Разработка или применение новых методов решения.
- Выбор наилучших решений из возможных альтернатив.
- Разработка экономических моделей и программ.
- Разработка путей мобилизации резервов.

4. **Методическое решение проблемы**:

- Разработка положений, методик, инструкций.
- Предложения по методике расчета доходов, расходов, эффекта, резервов и т. д.
- Конкретные расчеты на основе предлагаемых методик.

Предполагается, что все элементы этих перечней, содержащиеся в конкретной диссертации и вынесенные ее автором на защиту, удовлетворяют требованиям значимости, существенной новизны и полезности. Новое должно помочь сделать следующие шаги в познании или упростить рассуждения, применявшиеся ранее. Математические теории, сделавшись более общими, не теряют уже изученных объектов. В связи с обобщением понятий расширяются возможности их приложений и обогащаются методы исследований. Случается, что трудно доказываемые частные результаты с более широких и общих позиций становятся почти очевидными.

1.5.2. Научная значимость

Суть научного открытия не в том, чтобы увидеть нечто, а в том, чтобы установить прочную связь между ранее известным и доселе неизвестным. Открытие должно быть истинным, неожиданным 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).

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 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). Достижения оценивают не по трудности их получения, а по важности применений. Аристотель [125] считал: «Высшей истинностью (ценностью) обладает то, что является причиной следствия, в свою очередь истинного».

Оценка важности открытия со стороны 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» [128, с. 149].

Наконец, оценивается и способ прихода к открытию. Например, Кант не считал заслугой открытие, сделанное случайно (как Беккерель обнаружил радиоактивность), а не в итоге целенаправленного поиска.

1.5.3. Достоверность

Приводимые соискателем теоретические выкладки могут оказаться чрезвычайно громоздкими. Нередки доказательства одной теоремы

на 5, 15 и даже на 50 страницах. Доказательства двух теорем Бернсайда из теории конечных групп занимают около 500 страниц каждое [113, с. 55]. 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 линейчатых процессов и вложенных цепей Маркова [161]), 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, машинного 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.). Компоненты достоверности и их удельный вес меняются в зависимости от этапа развития данной науки и научного стиля авторов. Н. Бурбаки [46, 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 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. Э. Ферми осуждал «стремление некоторых физиков найти сверхновое, не исчерпав всех возможностей в рамках уже существующих принципов и законов» [142, с. 28]. В связи с этим напомним общенаучный принцип «бритвы Оккама» — не плодить избыточные сущности.

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 (а лучше с двух).

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

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 в погоне за приоритетом 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 организации 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 временно́й 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, 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, 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» [3].

Ж. Фурье [116, 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» [206, 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 [93]. 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 ситуации даже при успехе не меняет: «Работа и есть личная жизнь» (Н. И. Вавилов, [125]);
- 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 [192] говорил, что надо «оказаться на месте во-время, чтобы сорвать расцветший бутон».

По изложенным причинам правильнее вместе с Н. Винером считать, что «наука — это не служба, а служение» [130, с. 6]. Это объясняет особый традиционный настрой, который (пусть не везде, не всегда и не во всем) 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 более двух тысяч лет, и сопоставить ее с гипотезой акад. Н. Н. Моисеева [123] 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.

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 [50]:

- 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, чувство вероятности).

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» [175, 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, [176, LXXX,2]).

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, [206]).

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, [179]).

Конечно, есть «ученые», работающие ради денег, власти и общественного положения, но для достижения этого существуют гораздо более 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» [137, с. 164].

Подлинными учеными редко движут подобные мотивы. Если человек искренне увлечен наукой, то его не остановят никакие трудности. Достаточно вспомнить Араго — бессменного секретаря Парижской академии наук эпохи Французской революции [107, с. 74–75]. Он был послан измерить меридиан 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.

Символом бескорыстной любви к науке может служить математический гений Индии С. Рамануджан [106], открывший заново и обогативший целые математические миры, над которыми сотни лет трудились европейские математики: «Он был невыразимо беден. Он убежал в Мадрас, чтобы найти досуг для занятий математикой. Он не искал ни признания, ни почестей. Он просил только, чтобы его обеспечили простейшей пищей».

Как точность и надежность механических часов определяются стоящими в них драгоценными камнями, так и деятельность сознательного человека основана на некоторых фундаментальных принципах, которые не побоимся назвать идеалами. Именно от этих идеалов проистекает жизненная сила ученого [143, с. 13]: «Точное попадание судьбы (человек — место — дело) дает уже не человека, но бога. Бог же есть совершенство» [69].

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 [176, 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. 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, [3]). 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 [3]: *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. 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 [116]. 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... Творения 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 [198, 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

[1] Трусость и тупость генералов мирного времени автоматически порождаются их отбором внутри иерархии — см. «принцип Питера».

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, для молодежи (а также для стимуляции пожилых соискателей ученой степени) приведем высказывание Зигмунда Фрейда:

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

Сенека считал [176, 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». Автор теории физиологического стресса Г. Селье [175, с. 75–76] отмечает поразительное сходство между механизмами научного творчества и воспроизведения потомства. Он утверждает, что первым из семи этапов является «любовь или по крайней мере желание», и призывает контролировать ощущение блаженства после пятого этапа (рождение), чтобы не публиковать недостаточно проверенный материал.

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» [116, 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 квалифика-

цию, 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. 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» [130, с. 8]. По заверению нового председателя ВАК акад. М. П. Кирпичникова [87], 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.

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

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

- *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 ко 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 требования к их совокупности в существе остаются прежними. Она 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.

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» [111, с. 231]. Правда, во времена Французской революции астроном Байи был мэром Парижа, Монж — морским министром, математик Л. Карно возглавлял оборону Франции [46, 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» [46, с. 297]. А. Н. Крылов ушел с генеральского поста председателя Морского технического комитета, хлопнув дверью. Э. Ферми всю жизнь отказывался занимать административные должности [142, с. 34].

Как правило, первое значительное научное достижение дает направление всей последующей работе автора. Решив какую-нибудь задачу,

[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» [124].

всегда следует предпринять поиски новых. По мнению Д. Пойа [145, 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. Можно взять 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 [46, 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

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» [3]. Учитель воспитывает и обучает смену, щедро делится знани-

ями 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».

Эти поэтические строки убедительно подтверждаются всей историей науки. Например, заочными учениками Лейбница были Якоб и Иоганн Бернулли и л'Опиталь. В свою очередь, у Иоганна Бернулли учился Эйлер.

Из более современных авторов сошлемся на известнейшего физика Г. Гельмгольца [39, с. 136]: «Кто раз пришел в соприкосновение с человеком первоклассным, у того духовный масштаб изменился навсегда; тот пережил самое интересное, что может дать жизнь». Классик отечественной теории вероятностей Б. В. Гнеденко писал [49, с. 8]:

> «Учитель — это человек, который ведет нас от почти полного незнания, с которым мы приходим в школу, к вершинам достижений человеческого духа в литературе, науке, искусстве. Он приучает нас к добру и труду, труду осмысленному и необходимому для полноты жизни и глубокого удовлетворения от того, что приносишь пользу окружающим и жизнь не проходит даром».

Диссертационная работа выполняется под наблюдением и с помощью руководителя, но *самостоятельно*. 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. В уже цитированной книге Б. В. Гнеденко пишет (с. 71):

> «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».

С исключительной теплотой вспоминает о своих учителях А. Ф. Иоффе и Э. Резерфорде нобелевский лауреат П. Л. Капица [81].

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 «остро модными» 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 кафедрами не по профилю. Тогда ваша 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 [94, с. 64], а также А. Кац [30] выделяют фанатиков, пионеров, диагностов, эрудитов, техников, эстетов, методологов, индивидуалистов. По Г. Селье [175], 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. 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,

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

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. Хорошо 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 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,

[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 [81, с. 302].

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 [162] могли описывать прошлый опыт, но не имели реальной прогностической силы. 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, с меньшим трудом и более внимательно. Всякий раз прилагайте общий замысел (оглавление) работы и резюме предыдущих контактов (суть принципиальных замечаний и предпринятые вами действия). Имейте в виду: «если последуете половине совета, не получите полное следствие» [3].

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*» [3]. 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

История науки донесла до нас яркие примеры плодотворного творческого сотрудничества: Маркс и Энгельс; Пьер и Мария Кюри; Харди, Литтлвуд и Рамануджан.

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. 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 [128] 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.

Соискателю первой ученой степени вряд ли поручат организовывать крупную коллективную 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. Практи-

ческим проявлением истинного товарищества является взаимное воспитание [143, с. 24].

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. 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 [142, с. 34], что классик теоретической физики Э. Ферми был неплохим стеклодувом и программистом.

2.5.2. «Болезни» коллектива

Коллективная работа имеет и свои минусы. Между внешними связями, предписываемыми организационной схемой, и фактически складывающимися неформальными связями нет однозначного соответствия. 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). Выступая на заседании Президиума АН СССР [81, с. 150], он говорил, что «надо развивать те направления в науке, где нам посчастливилось иметь крупного, смелого и талантливого ученого. Руководящую роль в подборе кадров в институте должен играть директор, который сам должен быть крупным ученым. Не облегчив и не упростив работу директора института как ученого, направляющего научную работу, нам по-прежнему будет трудно привлекать на эту работу крупных ученых».

Причиной болезни коллектива часто служит формирование научной организации или подразделения «сверху вниз», когда некомпетентный руководитель подбирает себе подчиненных «пониже ростом». В [8] с уникальной для литературы по науковедению полнотой описана типичная «история болезни» НИИ при физическом факультете МГУ. Характерно, что один из разделов этой книги называется «Аномальная научная деятельность НИИФа». В составе лаборатории А. П. Знойко был отдел, имевший уникальный статус *эмпирического*.

С. И. Вавилов так характеризует обстановку на факультете, выясняя причины многочисленных конфликтов, возникавших среди сотрудников в двадцатые годы: «В 1917 г. все три кафедры физики Московского университета были замещены, без выборов, занимавшими их временно приват-доцентами[6], которые и составили в дальнейшем сплоченную группу, крепко держащуюся за власть в Физическом Институте и готовую защищать ее против всяких посягательств». В направленном в Государственный ученый совет «Письме пятнадцати» отмечалось «специфически московское обстоятельство: обстановка взаимного недоверия, чуть ли не зависти, когда руководители, сами чувствующие шаткость своего положения, вынуждены зорко следить, как бы что-нибудь крупное или значительное не обратило внимание общественности на несоответствующее распределение постов и талантов. Почти всякую выдающуюся работу или группу работ встречают недоверием и стремятся опорочить ее. Такое отношение в свою очередь внушает авторам настороженность, стремление иногда чересчур подчеркивать значение своих работ и нежелание делиться ими и делать предметом общего обсуждения. Вместо естественной обстановки, взаимной дружеской критики и поддержки в Москве создалась обстановка взаимной травли, а иногда почти недобросовестного заглазного охуления».

В основе своей это была борьба за распределение и перераспределение материальных средств. Но такая «материалистическая» основа нуждалась в маскировке. Роль маскировки играло распространявшееся проф. А. К. Тимирязевым [7] утверждение, что идет борьба между советской и антисоветской профессурой [8, с. 55]. В ходе этой борьбы единственного достойного кандидата на должность заведующего кафедрой физики

[6]Декретом от 1 октября 1918 г. все лица, прослужившие три года в звании приват-доцента, были переименованы в профессоров.

[7]Сын великого ученого. Сделав под руководством знаменитого московского физика П. Н. Лебедева *одну* научную работу и защитив ее на степень магистра в 1914 г., с тех пор в течение 14 лет не опубликовал ни одной самостоятельной научной работы по физике.

(кстати, многократно отказывавшегося от баллотировки) проф. Мандельштама, по выражению будущего академика А. А. Андронова, держали в «абсолютно черном теле».

К сожалению, такая болезнь не уникальна и не является исключительной особенностью переходного периода. Акад. Л. И. Седов [173, 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» [139].

С научными организациями, кафедрами и вузами уместно провести биологическую аналогию: «Стремление к сохранению гомеостазиса, к сиюминутному успеху, позволяющему наилучшим образом адаптироваться к тем или иным конкретным условиям, приводило зачастую к узкой специализации, например к гигантизму... Даже незначительные изменения условий обитания быстро приводили эти формы к гибели» [123, с. 103]. П. Л. Капица в [81, 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 жизнедеятельности; старческую болтливость (малоценные публикации); утрату способности к размножению (почкованием); слабеющее восприятие нового.

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. 3.5). В ходе опровержения доказательства происходит как «рост понятий», так и рост квалификации участников дискуссии.

В выводах комиссии по обследованию состояния дел на физфаке и в упомянутой лаборатории А. П. Знойко как крупный и типичный недостаток отмечалось, что лаборатория работает замкнуто, изолированно, не ведет комплексных работ, результаты не публикуются. Проблематика лаборатории и ее научная продукция не обсуждаются ни на ученом совете физфака, ни в каких-либо других компетентных научных организациях. Обсуждаться должны *конкретные* и *аргументированные* предложения и результаты, а не призывы «искать новые пути в науке» [8, с. 105].

Часто наблюдается дилетантизм в науке, под который даже подводится теоретическая база (он компенсируется «свежим взглядом»). Якобы подтверждающие этот тезис примеры обычно относятся к незрелым наукам и специалистам в других областях. Поэтому в обсуждениях должны участвовать специалисты: «Личность А. К. Тимирязева была особенно притягательна для "ученых из народа" — людей, серьезно занимающихся решением важнейших проблем, но не имеющих для этого достаточной (часто вообще никакой) научной квалификации. Еще в середине 20-х годов Тимирязев выступал с докладом "Роль и труды самоучек в науке и технике", пропагандировал идею создания центральной организации самоучек» [8, с. 212]. Характерный пример взаимодействия с подобным «самородком» в гораздо более позднее время описывает д-р физ.-мат. наук А. Г. Постников [143, с. 25]: «Будучи аспирантом, я получил задание дать консультацию лицу, претендующему на решение одной из трудных задач математики. В неквалифицированной рукописи я нашел ошибку и указал на нее. Автор повадился ходить ко мне, а когда я сказал ему, что нужно самому проверять себя, он ответил: "Дело мыслителей давать фундаментальные идеи, а ваше дело исправлять неточности"».

Обсуждения в широком кругу специалистов укрепляют демократические начала вследствие выравнивания информационной обеспеченности верхов и низов, возможности высказываться независимо от социального статуса и формальных авторитетов.

Отличительная черта науки — новизна и оригинальность, т. е. *девиантность* (в других сферах ценится конформизм). Поэтому подобные дискуссии всегда насыщены критикой. «Естественный ход развития показал, что опровержение или радикальное изменение старой теории возможно только с высшей точки зрения, причем оно наступает само собой, когда старая теория оказывается пройденным этапом» (из переписки академиков В. А. Фока и П. Л. Капицы, [8, с. 275]).

Претензии на ниспровержение или углубление основ редко оказываются состоятельными. Отделение математики и естественных наук АН СССР в ходе 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 [8, с. 176–178]. 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.

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 [173].

«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. Таким образом, развитию математики содействуют в известном смысле скорее те, кто выделяется не столько строгостью своих доказательств, сколько своей интуицией» (Ф. Клейн, [116, с. 116]).

2.6.1. Психофизиологические основы

Нормальный мозг успешно функционирует только во взаимодействии обоих его полушарий. Специализация полушарий указана в заимствованной из [194, с. 27] табл. 2.1 (с переупорядоченными строками). Более детальная и отчасти противоречивая локализация интересующих нас психических функций мозга обсуждается в [19, 50, 200, 202]. 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.

Таблица 2.1. Функциональные различия полушарий коры головного мозга

№	Левое	Правое
1	Детальное восприятие	Целостное, образное восприятие
2	Хронологический порядок	Текущее время, синхронное с физическим
3	Деформация временной шкалы (растяжение и сжатие)	Синхронизация биоритмов с внешними периодическими процессами
4	Чтение карт и схем	Конкретное пространство, ориентация на местности
5	Запоминание имен	Узнавание лиц
6	Запоминание слов	Узнавание образов
7	Речевая активность, чувствительность к звукам, смыслу	Восприятие эмоционального состояния людей, интонаций
8	Ви́дение мира эйфорическое	Ви́дение мира мрачное

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[8]. Известно, что композитор М. Равель после травмы левого полушария мог слушать и оценивать музыку, но был не в состоянии ее записать и заниматься композицией.

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

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. С правым полушарием связаны анализ звуков, интонация и образность речи, оценка музыки, пение. Оно ориентировано на прошлые ошибки, самобичевание; ответственно за отрицательные эмоции, восприятие неприятного и ужасного, склоняет к депрессии и унынию.

Относительно локализации и работы *памяти* существуют различные мнения. По данным [136, 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.

Мышление не обязательно предусматривает решение чисто логических задач: это достаточно сложный процесс, включающий не только логическое, но и образное мышление. Ю. И. Манин [113, 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 [194, 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 невыразим. Словесное выражение внутренней речи походило бы на речь маниакальных больных и имеет вид семантических комплексов (редуцированные речевые элементы в сочетании с наглядными образами, имеющими обобщенный смысл) [201].

Таким образом, для достижения понимания необходимо неразрывное сочетание работы подсознательного, образного мышления и контролируемых сознанием логических методов.

2.6.2. Логическое мышление

Элементы *формальной логики* будут обсуждаться в главе о научном инструментарии. Здесь мы приведем собранные из многих источников (в особенности отметим [53]) сведения и рекомендации относительно общих принципов 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). 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 [152, с. 29], Максвелл не вполне понимал смысл теории Максвелла, Лоренц — преобразований Лоренца, де Бройль — что такое волны де Бройля. Более того, было заявлено (В. И. Гема), что «Маркс не сразу стал марксистом». Характерно, что нобелевская премия М. Борну была присуждена за участие в разработке *нового способа мышления*, утверждение которого в науке было связано 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 не наука, а творческий подход, позволяющий выйти 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 не с опытом, а с другими идеями, и пытаться улучшить потерпевшие поражение концепции, *не отбрасывая их*.

Учитесь 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 обнаруженный опровергающий 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: ключом к открытию Менделеева явилось упорядочение не только химически сходных, но *всех* элементов по атомным весам. 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 варианты, новые постановки, уточнение условий, осознанные новые ограничения,

частные методы — это тоже результаты (кстати, не забывайте их фиксировать). Не смотрите на неудачу как на следствие дефицита таланта; докажите себе и другим, что это временное явление.

7. Не смущайтесь отрицательным отношением окружающих к избранной задаче: оно может явиться следствием опережения вами своего времени. Их сугубо научные аргументы могут опираться на устаревшие знания. 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 [153, 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. Именно поэтому при обучении и развитии детей такое значение придается наглядности. Именно в этом состоит ядро педагогической системы Шаталова.

> «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 [1]).

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» [46, 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 необходимы 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 изображения самых разнообразных схем идеально подходит система *Visio* (см. разд. 6.10). 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[9] позволяют организовать необходимые связи, выявить разного типа общность между ситуациями в зоне задачи. Обобщенные портреты, метафоры, эмоционально значимые символы и второстепенные детали образа решения порождают некоторый контекст, на котором как на питательной среде вырастает решение в виде заключения по аналогии. Продуктивность контекста связана, с одной стороны, с ориентацией на задачу (зона блужданий ограничена), а с другой — с неоднозначностью операций.

Для мобилизации и тренировки правополушарного мышления можно рекомендовать:

[9]Эти операции определены в конце следующего подраздела.

- построение наглядных схем — структурных, блок-схем алгоритмов, функциональных, организационных и иных соотношений между понятиями (типа фреймов — для первого знакомства см. [168]), диаграмм переходов между состояниями систем, сетевых графиков и диаграмм Ганта, лучевых диаграмм — см. разд. 7.6.4 и 7.6.6 — для сравнения нескольких объектов по комплексу показателей;

- моделирование (макеты, компьютерные игры, имитация);

- 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 [52, 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.

> «Обычно полагают, что внешний слой мышления есть самый совершенный, ибо он легче выражается словами, но это неверно. Гораздо значительнее глубинный слой мышления, который выражаем чувством. Он сильнее владеет человеком; из него истекают поступки, влияющие на карму. Чуткое возвышенное сознание умеет прислушиваться к глубинному мышлению, оно не нуждается в словесных изречениях и знает, что в очаге безмолвия куется восхождение» [3].

В нашем случае подсознание нельзя понимать по Фрейду — как сферу сексуальных, защитных и агрессивных инстинктов. С интересующей нас точки зрения основные свойства бессознательного — это 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.

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. Он действительно часто, вставая по утрам с кровати, тут же записывал формулы, после чего быстро проверял их. Таким образом, воспроизводимая Р. Гамзатовым рекомендация Абу Талиба «Проснувшись, не вскакивай с постели как встрепанный — сначала подумай над тем, что тебе приснилось» представляется проверенной авторитетами.

Не дожидаясь озарения, можно попытаться из анализа сновидения (если оно запомнилось) извлечь промежуточные результаты. По З. Фрейду, *логическая* связь между объектами или событиями может выражаться в их сближении во времени или в пространстве. На отношение причины и следствия указывает прямое превращение одного предмета (ситуации) в другой. Вместо альтернативы «ИЛИ — ИЛИ», предполагающей временно́е развитие, используется рядоположение «И — И». Желаемое будущее замещается картиной, представляющей настоящее.

2.6.5. Интуиция и математическое открытие

Механизмы творческого мышления уже давно привлекают внимание представителей различных направлений психологии и логики. «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). По В. И. Вернадскому [35, с. 111], «интуиция, вдохновение — основа величайших научных открытий, в дальнейшем опирающихся и идущих строго логическим путем, не вызываются ни научной, ни логической мыслью, не связаны со словом и понятием в своем генезисе».

С. Р. Микулинский и М. Г. Ярошевский [128, с. 10] даже 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».

Характерными чертами научной интуиции являются [50, 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.

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.

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. [1, 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. Он буквально сидел на чемоданах, торопясь в поездку по артельным сыроварням. Таблица элементов была завершена (доведена до стадии отсылки в типографию наборного экземпляра) в течение одного дня [128, 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).

К счастью (в указанном смысле) соискателю ученой степени дефицит времени гарантирован.

К озарениям должна быть определенная психологическая предрасположенность — *одержимость наукой*. «Всякий крупный ученый должен быть до некоторой степени сумасшедшим», — говорил П. Л. Капица Резерфорду [81, 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 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 [137, 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

[10] П. И. Карпов, «Творчество душевнобольных». — М.– Л., 1926, с. 116. Эта книга упоминается в знаменитой сказке братьев Стругацких для младших научных сотрудников «Понедельник начинается в субботу» и цитируется здесь по [153, с. 19].

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» [69].

В литературе по психологии научного творчества [1, 175] 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).

Яркий пример озарения связан опять же с именем Рамануджана. Теорема Харди—Рамануджана ([46, с. 397]) дает оценку $p(n)$ числа разбиений натурального числа n на натуральные слагаемые:

$$p(n) = A_n \exp\left[\pi\sqrt{\frac{2}{3}(n-1/24)}\right],$$

где

$$A_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}}\left[\frac{\pi}{\sqrt{6}(n-1/24)} - \frac{1}{2(n-1/24)^{3/2}}\right].$$

Рамануджан ввел в нее поправку 1/24, сделавшую формулу *точной*. Это было, по-видимому, какое-то молниеносное прозрение, фантастический взлет мысли, основанный на длительных и глубочайших размышлениях, синтезировавших всю гигантскую работу гениального ума. По мнению Дж. Литтлвуда, «в этом было что-то почти сверхъестественное» [106].

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 породила впечатление ее непостижимости [128, 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 все 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. Примерами могут служить аналогия между атомом и солнечной системой (планетарная модель атома) в физике и межотраслевая (бионическая) аналогия принципов движения по снегу пингвина и снегохода.

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 [60, 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 квазиустойчивость определяется их способностью использовать энергию и вещество из окружающего пространства ([123, 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 [128, 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. Функция подлинных эвристик состоит в актуализации и организации знаний и операций, которые могут помочь решению задачи, а также в том, чтобы направлять и регулировать поиск, необходимый при всяком творческом мышлении.

Роль эвристических элементов особенно велика на начальных этапах становления научной теории, но и потом не сводится к нулю (по крайней мере постольку, поскольку теория развивается).

Эвристическое *программирование* — это создание алгоритма; следовательно, оно принципиально не способно дать творческие решения и никак не может служить моделью творческого процесса. Каждое из эвристических правил при составлении программ для ЭЦВМ строго формализуется. Однако в связях между отдельными правилами нет аналогичной жесткости. Комплекс таких правил не тождествен алгоритму в его строгом понимании [128, с. 312]. Алгоритмы гарантируют точное решение задачи, а эвристические методы — не гарантируют, но в большинстве случаев позволяют получить приемлемое решение с меньшими затратами времени и средств. Качество эвристики можно оценить частотой получения точных решений или средним ухудшением качества решения.

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

2.6.6. Эстетика как критерий истины

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 [211, 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 [116, с. 101].

Птолемей трактовал гармонию как деятельное начало, благодаря которому система приобретает соразмерность и упорядоченность. При возведении зданий 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 — президент НИИ физики фуллеренов и новых материалов (см. *А. Бондаренко.* Служение на благо России. «СПб. Ведомости», 23.05.2003) практически доказал, что ключ к процессам самоорганизации, развития и распада различных систем — гармонизирующее резонансное взаимодействие при «золотом» соотношении частот. В частности, это соотношение многократно обнаруживалось им 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. 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.

> «О плодотворности наших будущих результатов... нас может информировать чувство красоты... Не зная ничего более, мы чувствуем, что продолжать исследования по такому-то направлению стоит труда; мы чувствуем, что вопрос сам по себе заслуживает внимания и что его решение будет иметь некоторую ценность для науки независимо от того, будет оно или не будет иметь некоторое приложение. Каждый волен называть это чувством красоты или нет. Бесспорно, это то, о чем думали геометры, изучая эллипс, так как они не могли думать ни о чем другом» [1, с. 119].

Для Рамануджана, который «считал каждое натуральное число своим личным другом», внутренняя красота формулы имела бесконечную ценность. Его формулы можно рассматривать как прекрасные картины [46, 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.

Ассоциации с искусством способствуют повышению творческого тонуса, формированию вкуса к эстетизму решения, появлению чувства гармонии. «Если бы Платон писал Библию, он, несомненно, начал бы ее такими словами: "Вначале Бог создал математику, а затем небо и землю согласно законам математики"» — полагал М. Клайн [116, с. 23]. Поэтому Э. Шредингер при выводе своего знаменитого уравнения в значительной мере руководствовался эстетическими соображениями [201, с. 56]. Г. Харди [198, с. 57] считал, что «создаваемые математиком образы, подобно образам художника или поэта, должны обладать красотой; подобно краскам и словам, они должны сочетаться гармонически. Красота

служит первым критерием: в мире нет места безобразной математике». Он полагал, что математическая красота заключается в неожиданности, непреложности и экономичности, и рассматривал перечисление всех случаев как наиболее скучную форму математического доказательства[11].

Г. Вейль считал, 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» [69].

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» [1, с. 141].

Красота решения выражается [201, с. 57]:

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

[11] Именно так была окончательно доказана известная гипотеза «четырех красок».

При этом речь может идти не только о симметрии материальных объектов, но и о симметрии систем понятий и теорий, отображающих структуру реального мира. Об этом 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» [208].

Известно, что Пьер Кюри, именно рассчитывая обнаружить симметрию, сопоставлял пьезоэлектрические и магнитные явления. 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 [152, с. 78]. В известной истории о первом проявлении гениальности юного К. Гаусса (суммирование чисел от 1 до 100) он для мгновенного получения ответа использовал именно симметрию.

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 [208, с. 289].

Отметим, что заключительный раздел цитируемой монографии [208] 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.

2.6.7. Математика и музыка

Роль гармонии в природе, математике и технике естественно приводит к *музыкальным* аналогиям [111]: «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 и слабость, ум и 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. Эйнштейн отмечал высшую музыкальность как наиболее характерную черту Нильса Бора [100].

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.

Разумеется, «вместить сие может не всякий, но кому дано». «Хорошая музыка — "дар божественных звучаний" — строится со строгой 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, [116, с. 146]).

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

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 [142, 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 («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:

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

Этот шедевр по краткости и выразительности нельзя не сопоставить с обсуждаемыми ниже японскими трехстишиями.

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, в ущерб концептуальным растет объем сведений частного и справочного характера. 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 о неумении или нежелании учиться. Как следствие, лишь 1% изобретений, сделанных в СССР, не имел аналогов. Именно интуиция, составляющая ядро творческого процесса, позволит мысли вырваться из колеи шаблонных решений.

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, а 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. Эффективность конденсации зависит от гармонического сочетания знаний вглубь и вширь.

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 неустойчивость, 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.

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 [43]. 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.

Причинность, таким образом, оказывается не чистой необходимостью лапласовского детерминизма, а нелинейным процессом, диалектическим соотношением необходимости и вероятности, случайности и закономерности.

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 углубляют 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 позволяет 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, [43]).

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 стоит: озарение надо *заработать*. «На случай при великих открытиях наталкиваются лишь те, кто его заслуживает» (Лагранж, [116, с. 66]).

2.7. Этика ученого

2.7.1. Общие соображения

Этот раздел приходится начать с актуальных как никогда горьких размышлений нобелевского лауреата Макса Борна [22, 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 и 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».

В общем, ученые, как представители массовой профессии, являются носителями общественной морали, и от нее не свободны даже гении. Известно [93], что Ньютон был болезненно тщеславен и много спорил о своем приоритете с Лейбницем и Гуком, а Ф. Бэкон был взяточником. Виднейшие советские академики (М. А. Леонтович, А. Н. Несмеянов и другие) в сборнике ответов на анкету «Наука и общество» (М.: Знание, 1977) не нашли оснований утверждать, что занятие наукой способствует воспитанию высоких моральных качеств. Г. Селье полагает, что святых в науке — один на миллион. Есть даже мнение, что «грешные» черты дают жизнелюбие и оптимизм.

Тем не менее к некоторым профессиям, деятельность в которых непосредственно влияет на многие человеческие жизни (государственные служащие, врачи, учителя, юристы, работники СМИ, ученые) общество вправе предъявить особые требования, оформляемые набором неписаных норм и принципов. Главное, что безусловно должно отличать *ученых*, — это высокий профессионализм и стремление к истине.

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 [188, с. 12]. Мы ограничимся проблемами нравственности в точных и технических науках.

Нормы научной этики не сформулированы официально, но они 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, [170]. 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. У исследователя не должно быть намерений и целей (личных и групповых), противоречащих задаче поиска истины. Печальные примеры из истории науки (Т. Д. Лысенко и др.), а также трагические последствия «принципа партийности» показывают, насколько вредоносны бывают фанатически убежденные в своей непогрешимости ученые, в особенности «авторитеты», имевшие доступ к рычагам административного воздействия.

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. Занятия математикой вырабатывают особую строгость мышления, которая становится второй натурой ученого.

Не следует торопиться с публикациями. Ньютон очень долго ждал новых вычислений длины радиуса Земли, необходимых ему для подтверждения закона всемирного тяготения. В [188, 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[12]. 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 описанную во многих источниках борьбу с «облысением биологической науки».

[12]Разумеется, приказания по службе выполнять надо.

Ученый должен быть готовым пересмотреть свои взгляды: в [188, с. 33–35] приводятся примеры признания своей неправоты А. Ф. Иоффе, И. П. Павловым и А. Эйнштейном перед оппонентами, имевшими намного более скромный статус в науке.

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;
- 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*. Первым требованием коллег к ученому является трудолюбие и обязательность (безусловное выполнение *принятой на себя* работы, которая является частью коллективной).

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» [137, 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). Банальную истину «молодежь пошла не та» хочется подтвердить выдержкой из [111, с. 101]: «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 превосходной степени обладал Л. Д. Ландау) часто 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. Там они могут оказаться даже более важными, чем ученая степень.

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 или большой длительности коллегиальность неизбежна. 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 развития коллективной работы» [81, 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 только при указании вклада конкретных разработчиков и роли самого соискателя (идея,

схема прибора, 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. Наилучший вариант — предоставить недовольным 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 Луцилия в самом первом абзаце своих писем [176]. 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» [176].

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

- Различайте работу и «антиработу».
- Распределяйте работу в соответствии с квалификацией исполнителей.
- Сводите к минимуму число заседаний и количество их участников. Готовьте обсуждаемые материалы заранее и *предварительно* ознакомьте с ними участников мероприятия. Исключите дежурные выступления по разнарядке. Добивайтесь *реальной пользы* от заседаний.
- 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).

- 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 об *икре* (стоимость белужьей икры по ценам 2005 г. — свыше 1000 рублей за 100 г) им даже не ставился[13]. *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.

[13] С другой стороны, по Д. Прайсу [93, 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 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, дискетницы и т. п.). Рабочее место должно настраиваться на каждый день — с учетом вида и содержания спланированной предстоящей работы.

В очень обстоятельной книге [193], см. также [146], 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) желатель-

на 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, дискетница — лучше с замком, этажерка для компакт-дисков. Крайне желателен ноутбук — с ним вам не придется дополнительно переводить в электронную форму сделанные в библиотеке записи. Пока это роскошь, но такая техника довольно быстро дешевеет. 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 и плохо инсталлируются). 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. Из них предпочтительны гелевые и перьевые (помните, что «молодежь выбирает Parker»). Чернила для последних следует фильтровать.

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 прорежива-

[1] Сын одного из коллег 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.

ется, 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. Желательна возможность периодического отдыха для глаз путем перевода взгляда на удаленные объекты. Предпочтителен монитор с жидкокристаллическим экраном, который:

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

Некоторые мониторы этого типа обладают поворотным экраном и оснащаются соответствующим драйвером. Рациональное использование площади экрана 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. 3.8.

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, аккумулируя 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». Согласно В. Л. Узюмову, «Л. Н. Толстой написал 90 томов и успевал еще учить детей, часами вел

беседы с посетителями, воевал под Севастополем и на Кавказе, бывал в Европе, десятки раз переделывал рукописи своих книг, пахал и сеял» [191, с. 34] — но не одновременно же!

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» [143, с. 19].

На пик производительности следует относить теоретическую работу, программирование, написание первых вариантов текста. Э. Ферми вел размеренную жизнь и никогда не изменял своим привычкам. Теоретической работой он занимался с половины шестого утра до половины восьмого. В институт приезжал не позже девяти утра, с утра читал официальные лекции. На обед и отдых (или теннис три раза в неделю) отводилось время с 13 до 15 часов. Лето проводил либо в Альпах, либо читая лекции за границей [142, с. 37].

П. Л. Капица [81, 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. «Если ресурс творческой жизни человека 100 тыс. часов (40 лет по 8 часов в день), то в стране, имеющей 50 млн телезрителей, часовая передача равносильна духовной стерилизации 500 мыслящих граждан... А кроме телевидения есть еще кино, радио и десятки других способов "убить время" и парализовать мысль» [139, с. 210].

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 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 семьей и друзьями — в разумной дозировке не потери, а приобретение.

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 [137, с. 134] приведена способствующая засыпанию последовательность из 28 формул.

3.3. Направление, проблема, цель

Как справедливо отмечает А. Л. Фрадков [197], 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» [153, с. 170]. Будущий *доктор наук* должен знать направление сам (оно формируется годами в процессе его научно-исследовательской работы).

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

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 [114, с. 13]. Отсюда вытекает рекомендация выбирать *не тему, но специальность, коллектив, руководителя*. Слишком ранняя самостоятельность, попытка продолжать случайно выбранную студенческую работу приведут к тому, что вы не получите должной научной подготовки. 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. Метод проектирования машины с учетом всех нынешних особенностей составляющих элементов будет иметь лишь местную ценность, да и то не дольше года. Хорошая теория может служить десятилетия целой армии грамотных инженеров.

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 внешни-

ми организациями, сравнительной легкости получения отзывов и внедрения будущих результатов.

Главное требование к выбранному направлению — *актуальность*. Расстановка приоритетов со временем меняется. Пятью приоритетными направлениями научно-технического прогресса стран — членов СЭВ до 2000 г. считались:

— электронизация народного хозяйства;

— комплексная автоматизация;

— атомная энергетика;

— новые материалы и технология их обработки;

— биотехнологии.

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 [197, разд. 8]. Оправданной «точкой роста» являются нанотехнологии.

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 [41] 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. К паспорту специальности прилагается программа общей части кандидатского экзамена, которая дает достаточно ясное пред-

ставление 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. 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. Хорошо известно, что «нет ничего практичнее хорошей теории» (Л. Больцман); тем не менее 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).

Относительно проблемы прежде всего выясняется *степень проблемности*:

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

Анализ проблемы по [201, 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 ответить на вопрос, за что присуждается степень. И этот ответ должен дать 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» [175], предпочтительно использование самых простых и надежных инструментов — это повысит доверие к результатам и покажет зрелость соискателя.

Решение проблемы означает установление фундаментальных закономерностей или (в прикладных исследованиях) разработку новых методов или технических решений. Критерием фундаментальности является отношение к истине: для фундаментальных исследований это самодостаточная цель, для прикладных истина *инструментальна* и должна служить практическим целям. Поскольку термин «фундаментальный» может трактоваться и как «основополагающий», к собственным результатам его следует применять с осторожностью.

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*. Должен существовать также разумный баланс между значимостью проблемы и вероятностью ее решения. По этому вопросу необходимо консультироваться с руководителем. *Задачей* считается проблема, решаемая известными методами.

Найденное противоречие позволяет определить конкретную *цель*. Целью называется мысленное предвосхищение результата, ради которого предпринимаются те или иные действия. 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).

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:

- улучшение 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 и т. п.

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. Поэтому всегда приходится искать наивыгоднейший компромисс. По современным воззрениям, техническая проблема должна ставиться как задача *многокритериальной оптимизации*.

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

Информация — это важнейший ресурс в современном обществе. Считается, что если бы Маркс жил сегодня, он написал бы не «Капитал», а «Информацию» [21].

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 и препятствием к творческой деятельности. «Читать — значит думать чужой головой вместо своей собственной. Но для самостоятельного мышления, которое стремится выработаться в нечто цельное, в некоторую, хотя бы и не строго завершенную систему, ничто не может быть вреднее, как слишком сильный приток посредством чтения чужих мыслей, потому что они, принадлежа порознь различным умам, иной системе, нося другую окраску, никогда сами не сольются в одно целое и не дадут единства мышления, знания, воззрения и убеждения» [206, 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» [21]. Приводимые в книгах по науковедению [21, 62] 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, в этой информации чрезвычайно мало существенной и оригинальной. Необходимы ее отбор и *приведение в систему*, что требует намного более высоких способностей, чем простое запоминание.

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, и участки сканирования, и интернет-классы, и 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.

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.

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 оглавление современного учебника, перекрывающего вашу проблему или значительную ее часть, на уровне глав и разделов. 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). Начинающие исследователи неумело пользуются рабочим аппаратом книги для извлечения нужной информации и, выбрав книгу, сразу же приступают к ее чтению подряд. Важные вспомогательные факты, которые содержатся в аннотации, предисловии, введении, оглавлении, проходят мимо читателя [136, с. 64–65]. Нужно помнить, что содержимое монографии (и даже журнальной статьи) отражает результаты минимум двухлетней давности по отношению к дате выпуска. Следует также выяснить, в каких журналах и сборниках трудов публикуются интересующие вас статьи.

3.4.2. Справочные издания

После завершения этапа «первоначального накопления» следует закинуть сети с более мелкой ячеей — на статьи и диссертации. 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, 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. При использовании карт с краевой перфорацией такой поиск можно организовать и вручную.

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 методического 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 [25], 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. К примеру, «Диалектику природы» Энгельс писал 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 [107, с. 76].

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» [3]. 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 необходимость проникновения в ход его мыслей 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» [116, с. 66]. В. И. Вернадский [36, с. 461] полагал, что «необходимо внедрить чтение классиков естествознания в высшую школу, ибо в этих трудах... всякое новое поколение находит новое, не понятое современниками, находит намеки и указание путей будущего». П. Л. Капица [81, с. 253] писал, что его лично знакомство с работами таких ученых, как Максвелл, Рэлей, Лебедев, научило многому и, кроме того, доставляло и эстетическое наслаждение.

Казалось бы, со времени работы классика прошло много времени, наука ушла вперед, зачем же возвращаться к пройденному этапу? Но кто-то справедливо заметил, что в трудах классиков сказано больше, чем в них написано. Иными словами, в трудах классиков заключена как бы особая сила, приобщение к которой увеличивает нашу научную зоркость. В [143, 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 [167]), логике и искусственному интеллекту, программированию на выбранном языке (лучше всего на новейших версиях *Фортрана* — см., например, [12, 166, 172]) 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 разноообразнейших 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» [176, II, 1]. Ученые с большим опытом составляли планы чтения на 10 и 15 лет [39, с. 33]. А. Эйнштейн имел расписания на месяц, семестр и год и выполнял их неукоснительно. Аналогично поступал известный советский ученый А. А. Любищев — см. книгу Д. Гранина «Эта странная жизнь».

Чтение книги начинается с просмотра ее оглавления и наиболее интересных разделов. При работе с книгой нужно одновременно выписывать номера страниц для ксерокопирования. В своих книгах 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. Удивительные 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.

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. Оправдывая свою фамилию, В. Г. Воблый [39, с. 84] советует «читать книгу, как едите рыбу: отрежьте голову и хвост, выньте кости, выбросьте спинную кость». Впрочем, последнюю как структурообразующий элемент стоит оставить.

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.

Сплошное чтение литературы по специальности требует особых навыков. Есть авторитетное мнение, что «гений — это неустанное внимание» (Ж. Кювье). Вниманием надо управлять по глубине, ширине, предметности. 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 должно быть сопряжено 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 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. В сверхемких текстах типа

Ночь. Улица. Фонарь. Аптека.

А. Блока или

Тюлень. Пингвин. Глупыш.
Снега. Мерцанье. Тишь.

К. Бальмонта все слова — ключевые.

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.

Навыки чтения у многих людей оставляют желать лучшего. Типичные недостатки: частые возвращения назад, внутреннее проговаривание, очень узкий угол зрения. 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 [136, с. 65] — до 240–600 страниц в час). Возможный эффект варьируется в зависимости от сложности текста и для научных текстов минимален. Поэтому овладение динамическим чтением не решит *всех* ваших проблем. И вообще, «черпать надо не сколько хочется, а сколько можешь вместить» [176, CVIII, 2].

3.4.7. 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. 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 [39, 147, 153, 205]. Берите пример с классиков — Энгельс владел 20 языками [39, с. 43]. Кардинал Меццофанти (1774–1849 гг.) знал более ста языков. В 1961 г. в ГДР умер проф. Геестерман, знавший 132 языка [137]. Эти и им подобные полиглоты без труда осваивали по два–три языка в год, причем все с меньшей затратой сил.

Начиная изучение нового языка, пользуйтесь краткими грамматическимми справочниками и *частотными* словарями. Известно [137, 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).

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

Не полагайтесь на возможности автоматического перевода. Большинство электронных переводчиков для заданного слова дает список вариантов перевода *без указания контекста для каждого варианта*. 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.*
- *Стул стола запрограммирован, чтобы быть легким, чтобы вращаться.*
- *Чтобы понимать, что делает форму шикарной (сильной), это помогает знать, как формы оттянуты и запасены в Visio.*
- *Копия и Паста* (Copy and Paste) *формирует от Visio привлекающего (составляющего) в другое заявление (применение), которое не поддерживает* OLE 2.
- *Tip* (замечание, совет) переведен как *наконечник (чаевые).*
- *Если выбор (опцион), который вы хотите, не доступен как палитра, вы можете использовать команду из меню Формата.*
- *Когда вы применяете цвет и тени, Visio использует цвет, который является самым близким состязанием (спичкой — match), доступным указанному цвету.*
- *Твердый (solid) цвет — правильная (right) половина.*
- *Текст Пасты от Clipboard.*

В заключение этого раздела отметим дополнительные трудности, возникающие при переводах со своего языка на иностранный. Словарь (в особенности электронный) не подскажет, когда решение нужно переводить *decision*, а когда *solution*; целью может быть *purpose, goal, aim, target*; включать — переводиться как *add, insert, include, involve* [197]. Поэтому нужно опираться на статьи из ведущих 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.

3.4.8. 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 числом страниц, но его емкостью применительно к теме. Писать следует на одной стороне листа. 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 не сплошь, а 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 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 попутно отмечайте возникающие у вас «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 или описания процедур надо заменять простыми и 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;

∂ — частный, частичный;

`user` — потребитель, эксплуатационник, пользователь;

`own` — собственный, личный;

$ — затратить, оценить.

К этим сокращениям можно приписывать приставки и окончания.

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*. Резюме может быть избирательным (проекция 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 и работа в 10-оконном текстовом редакторе *Лексикон*. Одновременная работа с несколькими файлами возможна и в других текстовых редакторах.

Некоторые из них (*Multi-Edit*) позволяют видеть содержимое сразу двух файлов, что заметно облегчает компилятивную деятельность.

Отработанный первоисточник помещается в каталог (папку), отведенную под соответствующую рубрику; номер 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 и т. д.) необходимо по мере их накопления переносить на жесткий диск компьютера. Структуру директорий нужно тщательно продумать, им и хранимым файлам предпочтительно 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. Основная цель реферата — самообучение. Для составления реферата можно использовать обсуждаемую в разд. 4.4.3 технологию компиляции. Не надейтесь, однако, что он составит готовую часть диссертации.

3.5. Семинары и конференции

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 выра-

ботки 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. 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»). В то же время надо 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. Всем нам приходилось наблюдать, как

. . . Что-то вслух бубнит мужчина,
Стоя в ящике по грудь.

В некий текст глаза упрятал,
Не поднимет от листа.
Надпись «Пламенный оратор» —
И мочалка изо рта.
(А. Твардовский, «Теркин на том свете».)

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 афоризмом 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 (1–2) 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 и международных конференций.

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 [197]. 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).

Докладчик на конференции «по умолчанию» считает, что каждый слушатель знает о предмете обсуждения все — включая детали последней статьи докладчика. В действительности ситуация иная — и тем в большей степени, чем шире профиль конференции. Ограничивайтесь *идеей* доказательства.

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 (например, *Microsoft PowerPoint*). Кроме того, нет гарантии предоставления организаторами конференции необходимой проекционной техники.

Для изготовления слайдов в LaTeX 2ε существует одноименный класс документов, который обеспечивает вывод текстовой информации и формул (укрупненным и более насыщенным шрифтом), а также графиков и диаграмм, в том числе в цвете. Сразу же предупредим, что для печати на лазерном принтере необходима термостойкая пленка (иначе неминуемо потребуется дорогостоящий ремонт принтера). С другой стороны, на некоторых видах пленки растекаются чернила струйных принтеров.

Недостатком обоих упомянутых видов иллюстративного материала является невозможность обозрения его *в совокупности*, что затрудняет восприятие и обсуждение доклада.

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); не мотивированных обстановкой демонстраций эрудиции, а также любых заявлений, которые могут оскорбить аудиторию (например, нелестная оценка уровня конференции). Помните, что *целью дискуссии должно быть установление истины, а не победа над оппонентом.*

Слушая других выступающих, старайтесь внимать *не словам, но мыслям*. Для улучшения взаимопонимания полезно следовать индусскому правилу: оба спорящих должны пересказать утверждение противника так, чтобы он подтвердил правильность изложения его взгляда. Нужно

все время держать в сознании динамику спора. 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 [188, 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 или открытой борьбой за престиж или непосредственно за ресурсы, гранты и заказы. Акад. Л. И. Седов [173] 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, бывают 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[4], но прислушаться к нему следует.

В книге [50] 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 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.

[4]Это основная особенность демократии в науке.

Помогайте младшим товарищам — это вам зачтется старшими (пусть даже на кармическом уровне). Не давайте, однако, обещаний, 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.

Педагогическая деятельность приучает ученого к четкой логике, жесткому отбору и *организации* материала, разумному балансу между строгостью и доступностью, а также между 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 [81, 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 обяснить его необходимость готовящимся к экзамену престарелым чиновникам. Менделеев открыл свою систему, стараясь упорядочить излагаемые студентам свойства элементов. Шредингер нашел свои знаменитые уравнения в процессе объяснения работы де Бройля группе аспирантов Цюрихского университета [81, 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. В особенности этот совет относится к молодым докторам наук.

3.6. 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 [35, с. 36]. На рубеже XVIII в. число корреспондентов Лейбница достигало 200 [46, с. 199].

Глобальная сеть Интернет — одно из самых радикальных технологических новшеств в истории человечества. Она развилась из созданной в конце 1960-х гг. для совместной обработки научных данных территориально разобщенными компьютерами сети ARPANET. С 1980-х гг. начался ее лавинообразный стихийный рост (на десятки миллионов абонентов ежегодно). 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 отдельны нейронов, а их количеством и организацией... Связи между *людьми*, обмен информацией между "локальными интеллектами" приводят к некоторому коллективному процессу мышления, к необычайному ускорению познания» [123, 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. 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 про-

токола 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,[5] 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 Archie-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 наибольший интерес представляют 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.

[5] В Великобритании применяется обратная последовательность.

Поиск начинается щелчком по соответствующему значку стартового меню. Если сетевой адрес документа известен, он непосредственно задается в окне. К нужной информации может вести множество альтернативных путей, обычно реализуемых просмотром иерархической системы меню. В меню серверов системы Gopher, работающих по протоколу FTP в режиме пересылки файлов, содержатся ссылки на меню других серверов. 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. Однако при чрезмерном ее расширении нужный документ может затеряться в массе выданной информации.

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. Для быстрого обращения к нужному домену сети нужно сразу набирать его адрес. 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. При вызове почты у абонента запрашиваются его имя и пароль. Затем открывается меню с перечнем услуг. При выборе, например, «Нового письма» открывается бланк с полями «Кому», «Копия»,

«Тема», «Текст», которые подлежат заполнению. К письму можно «прикрепить» пересылаемый адресату файл; в этом случае открывается возможность его выбора в каталогах машины отправителя. После щелчка по кнопке «Отправить» нужно дождаться подтверждения об уходе письма. Подсоединение к сети нужно только для отправки письма (на время, измеряемое секундами). Адресату подключаться к сети нужно лишь для проверки ящика и выгрузки его содержимого. Это экономит дорогостоящее время связи с Интернетом и рабочее время пользователя (не нужно подолгу ожидать соединения в сильно загруженной сети).

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 периодическое издание.

Работа с электронной почтой облегчается дополнительно включенной в *Microsoft Office* компонентой *Outlook*.

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 приближается 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. Перечислим наиболее интересные для математика-прикладника разделы каталога `www.freesoft.ru`: «Поиск в сети», «Оболочки», «Интернет», «Утилиты», «Программирование», «Ftn», «Архиваторы», «Библиотеки», «Драйверы». В разделе «Программирование» обнаружились, например, материалы по *Visual Basic, Delphi* и дизассемблеру, а также пакет *Matiss* из 500 процедур вычислительных методов объемом 10 Мбайт. Относительно последнего не удалось выяснить даже содержание и язык программирования.

По адресу `www.download.ru` в каталоге имелись рубрики «Мультимедиа и графика», «Программирование», «Редакторы», «Утилиты», «Бухгалтерия и делопроизводство», «Образование, наука и техника». Последняя делилась на «Обучающие программы», «Энциклопедии, сло-

вари и справочники», «Психологические и образовательные тесты», «Научно-техническое программирование», «Математика», «Медицина», «Строительство и архитектура», «Системы автоматизации проектных работ». Более детальное ознакомление с этими разделами показало, что математика сводится к школьной, а научное программирование — к построению сетевых графиков, планированию экспериментов, задаче распространения пожара и изображению графических зависимостей. Выводы делайте сами.

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 дискетами). Плата взимается за копирование на дискету 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 семерки (ныне — 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 издательство Elsevier предоставляет 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 заказчику 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). Практически с заграницей можно работать только тогда, когда соответствующий регион (включая тамошних программистов) спит. Вопрос о получении *текстов* статей придется решать применительно к каждому конкретному случаю.

Весь Интернет, по крайней мере в настоящее время, откровенно проникнут духом рекламы, торгашества и просто паскудства. В подавляющем большинстве случаев можно узнать только о *существовании* новых работ в интересующей вас области и библиотеках, где они имеются; иногда — ознакомиться с оглавлениями журналов и аннотациями на книги и статьи. При попытке получения *текста* как правило запрашивается номер вашей кредитной карты или предлагается заказать книгу по e-mail. Полученный материал скорее всего не оправдает ожиданий (см. раздел о «бесплатном софте»). Ведутся разговоры о создании отдельной сети для научной работы, с чего, собственно, и начинался Интернет. Пока же реальную пользу дает только e-mail при работе с заинтересованными корреспондентами. Начинающему свою жизнь в науке основные массивы информации придется перелопачивать «классическими» способами.

Этот раздел мы закончим цитатой из книги П. Т. Приходько (1979 г.): «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» [147, с. 42]. Эта мечта приблизилась — но еще не скоро станет явью.

3.7. 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» [205, 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 плана. И вообще «в науке нет небольших, ограниченных областей — есть только небольшие, ограниченные ученые» [175, 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» [198, 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. 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 — см. рис. 3.1. Здесь дугами помечены все И-дробления. Конечные подцели, образующие один из достаточных наборов, зачернены.

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).

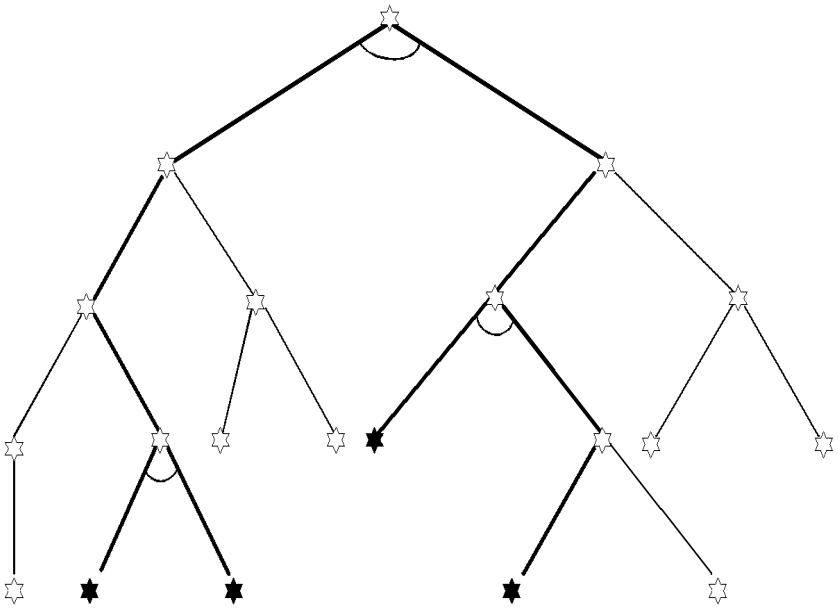

Рис. 3.1. Решающий граф

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» [86]), 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). Тема работы должна быть *соразмерна* ее содержанию: не шире и не у́же. По опыту она должна укладываться в 12–15 слов, исключая союзы и предлоги. Как правило, сужение содержания требует удлинения названия, и наоборот. Поскольку, согласно Положению, диссертация должна быть *законченным* исследованием, в ее названии не должны употребляться такие слова, как «Разработка» и «Совершенствование», указывающие на *процесс* работы, но должен отражаться ожидаемый *результат*. Наконец, она должна быть отшлифованной стилистически (нежелательны, к примеру, 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*. Он обязан знать место своей темы в более широком контексте.

Тема утверждается в течение первых трех месяцев пребывания соискателя в аспирантуре (докторантуре) на ученых советах факультета 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 надежды и обнуляет затраченный на него труд руководителя.

3.8. 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, что одновременно повысит конкурсные шансы), а также период выбора темы, который надо свести к минимуму. Затягивание работы над диссертацией не только гарантирует неприятности 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

изобретение 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 [193, с. 128–131]. Линейная диаграмма (график Ганта [51]) 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, тема 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 формируется 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 дисциплину широкого профиля. Дальнейшее продвижение соискателя по службе обычно жестко связывается со своевременной защитой или по крайней мере 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. Н. Винер писал [116, с. 147]: «Интенсивная исследовательская работа изматывает до предела. Если ученый лишится возможности отдыхать с той же полнотой, с которой он отдается работе, это сразу же скажется на качестве его статей».

Абсолютно необходима достаточно интенсивная физзарядка (по акад. Н. М. Амосову — 1000 движений за 25–40 мин. [137, 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 [137, с. 120].

Серьезные занятия *спортом* аспиранту (исключая спортивные вузы, а также туризм в летние месяцы) безусловно противопоказаны из-за недопустимых временны́х затрат и вредного действия запредельных физических нагрузок. «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» [176]. «Опровергающие» данный тезис примеры на самом деле свидетельствуют лишь о том, что немногим очень талантливым людям даже спорт не помеха. Хочется подчеркнуть особую пользу *спортивного* 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.

Некоторые молодые дамы пытаются совместить написание диссертации с рождением ребенка. Автору известны два примера 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».

Положение ВАК требует, чтобы основные результаты докторской диссертации были опубликованы в ведущих *рецензируемых* научных журналах и изданиях минимум за два месяца (по кандидатской — за месяц) до представления к защите, причем кафедра и оппоненты в своих отзывах *обязаны* этот факт подтвердить. Перечень «зачетных» журналов и изданий приведен в Бюллетене ВАК № 1 за 2007 г. По крайней мере одна такая публикация должна быть и по кандидатской работе. Журналы, достойные публикации докторских результатов, в упомянутом Бюллетене отмечены звездочками.

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 в случае использования 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 «Концепция 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 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, президент Академии наук СССР и ведущий теоретик авиации и космонавтики М. В. Келдыш — 50, легендарная С. В. Ковалевская — 10. Знайте также, что соискателю докторской степени по большому счету (неформально) совет засчитает только публикации в центральных и зарубежных изданиях и на конференциях соответствующего уровня. Впрочем, можно 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. Разумеется, при этом он пользовался и прежними заготовками [210, с. 15].

Публикации и выступления на научно-технических и методических семинарах являются факторами *апробации* — общественной оценки 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;
- в технических заданиях на создание новых средств;
- при разработке технических средств и перспектив их развития;
- 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.

В заключение напомним, что *за содержание диссертации и своевременное ее представление всю ответственность несет соискатель*.

3.9. 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. В вырожденном случае содержание раздела может сводиться к комментированной ссылке на литературный источник. Особое внимание следует уделять тем разделам, где предполагается существенный 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).

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. 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, метрические пространства вообще, тензорная геометрия). С другой стороны, надо помнить о предостережении Дж. фон Неймана [60, с. 13]: на большом расстоянии от эмпирического источника или в результате чересчур абстрактного «инбридинга» математической дисциплине грозит вырождение.

Построение контрпримеров в технических науках обычно не ста-

вится целью исследования. Однако получение их в ходе работы позволяет избежать заманчивых, но необоснованных обобщений, закрыть бесперспективные направления, предупредить практиков о недопустимых ошибках при использовании старых расчетных методик. В воспоминаниях А. Н. Крылова [98, с. 320] приводится пример расчета предельной динамической нагрузки моста (по формулам Леви Чивита реальные нагрузки завышаются на три порядка !!!). Сошлемся также на установленное расчетами [159] сильное влияние *вида распределений* интервалов между прибывающими заявками и длительности обслуживания (при фиксированных средних значениях) на показатели работы систем с очередями. Этот результат выявил практическую бесполезность формул Эрланга, дальше которых преподавание теории очередей в большинстве технических вузов не идет по сию пору.

Наиболее мощный внутренний стимул есть 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.

В [9] как «нетрадиционные и незаслуженно забытые» обсуждаются принципы исследования:

- метод требований (сопоставление желаемого с действительным и выявление проблемы);
- комплексность;
- ресурсы — управление — результаты (максимально эффективное управление ограниченными ресурсами);
- ориентация на *конечные* результаты;
- метод процессов (поэтапное движение — например, внедрение).

С этими соображениями безусловно следует считаться.

Добротная докторская диссертация должна содержать целостную концепцию и теорию. Концепция в виде сжатой и четкой формулировки

иногда не приводится — но желательна. В учебном пособии [130] 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»*. Поскольку диссертация по техническим наукам обычно связана с проектированием сложных систем и процессов, здесь возможно множество полезных аналогий с CASE-технологиями программирования (Computer Aided Software Engineering [79]), построенными на структурном системном анализе.

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 (существует точка зрения, что это и есть сущность системного подхода).

После выбора объекта исследования диссертант должен составить его содержательную модель, а затем провести ее *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 [49, 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 [210, с. 3].

[1] Имейте, однако, в виду высказывание Н. Бора: «Искусство потому и бессмертно, что не поддается системному анализу» [67, с. 84].

Э. Ферми [142, с. 44] считал, что простота обозначений в теоретической физике (и не только в ней) имеет первостепенное значение. 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 [167]. 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.

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.

Использование математики и ЭВМ рассматривайте не как самоцель и способ демонстрации своей компетентности, а как средство решения задачи. Председатель Экспертного совета ВАК по кораблестроению акад. А. А. Саркисов отмечал (Бюлл. ВАК, 2003, № 1) случаи, когда «математический аппарат присутствует в диссертации для украшения, выводы по диссертации тривиальны и с этим аппаратом не связаны. Это особенно характерно для работ, выполненных руководителями высокого ранга, которые в силу специфики своей повседневной деятельности вряд ли разбираются в математике».

Не думайте, однако, 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.

Пользуйтесь математическими пакетами подпрограмм преимущественно для проверки ваших результатов или сами проверяйте результаты, полученные пакетами (по крайней мере выборочно).

При математическом решении задачи всегда помните о ее смысле: длинные выкладки не скроют отсутствия содержательности. Э. Ферми отмечал [142, с. 19], что математик или физик с математическим складом ума часто *выдумывает* трудную задачу, решает ее, а потом восклицает: «Смотри, какой я умный!»

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! 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» [67, с. 83].

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 [142, с. 27]. Полученные зависимости прежде всего *проверяйте на размерность*.

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 пото-

ка событий. При большом числе параметров попытайтесь перейти к их комбинациям (обобщенным переменным) или проведите анализ чувствительности и отбросьте малозначимые.

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

$$\begin{aligned} q_0 &= \left(\frac{\mu}{\lambda+\mu}\right)^\alpha, \\ q_j &= q_{j-1} \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \frac{\alpha+j-1}{j}, \qquad j = 1, 2, \ldots \end{aligned} \tag{4.1.1}$$

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 на защите *докторских* диссертаций — отчего и запомнились.

Выведите из решенной задачи максимальное количество следствий. Рассмотрите частные и особые случаи. 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 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. 7.8 алгоритм быстрого возведения в целую степень, а также сортировка Хоара — см. прокомментированную программу ее на *Фортране 90* в [166, 168]. Помните, что математическое изобретение образуется совокупностью выборов и комбинаций. Среди комбинаций наиболее плодотворны составленные элементами из очень далеких областей, хотя большинство подобных комбинаций бесполезно. Обязательно оценивайте не только положительные стороны, но и минусы ваших предложений (они всегда найдутся).

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 рукописью, 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 [71] 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 ее окончания зафиксируйте *сложность* разработки. 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. Исследуйте их изменение в процессе разработки. Не забудьте включить эти материалы в текст диссертации: они гораздо вернее отражают объем выполненной работы, чем толщина книги.

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 [157]:

«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: качественное соответствие 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. Оценивайте качество ваших программ, зависимость требуемой памяти и времени счета от размера задачи и требований по точности; напишите сменные варианты программ, предпочтительные в разных ситуациях (дилемма «память — быстродействие»).

Структурируйте ваши программы, выделяйте фрагменты многократного пользования. Постепенно создавайте персональную проблемно-ориентированную библиотеку подпрограмм и *документацию по работе с ней*.

4.2. Физический эксперимент

Ценность исследования многократно увеличивается экспериментом, который Л. Д. Ландау считал верховным судьей всякой физической теории. *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. Машинный (в смысле «вычислительный») эксперимент не является полноценной заменой натурного. *Наблюдение*, в отличие от эксперимента, пассивно.

Выводы теории, подлежащие экспериментальной проверке, должны содержать только наблюдаемые величины.

Для проведения эксперимента любого типа необходимо:

- выдвинуть гипотезу, подлежащую проверке;
- поставить целевую задачу и выбрать объект;
- создать программу экспериментальных работ;
- определить способы (приемы) 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 [81] мы искренне рекомендуем всем читателям.

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 [132], 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. 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; со сложными техническими системами) может потребовать научного обоснования[2], 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 «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.

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:

[2]Доверять приборам мы можем только тогда, когда существует признанная теория их функционирования.

- 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.

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. Каждая размерность матрицы результатов сопоставляется одному из факторов. Одно дополнительное измерение используется для реплик: все установки датчиков случайных чисел в одной ячейке варьируются от реплики к реплике. Протяженность матрицы по любому измерению должна быть равна числу уровней этого фактора. Если используются несколько метрик, должно быть столько же результирующих матриц. 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 [62], наименований предметов снабжения в системах управления запасами [158, 169] 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

$$S_1 = \sum_i \sum_j (y_{.j} - y_{..})^2 = I \sum_j (y_{.j} - y_{..})^2 \qquad (4.2.2)$$

есть рассеивание средних для уровней второго фактора относительно общего, а

$$S_2 = \sum_i \sum_j (y_{ij} - y_{.j})^2 = \sum_j \sum_i (y_{ij} - y_{.j})^2 \qquad (4.2.3)$$

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

$$\begin{aligned} S_1/(J-1) &= \sigma_Y^2 \chi_{J-1}^2, \\ S_2/(J(I-1)) &= \sigma_Y^2 \chi_{J(I-1)}^2. \end{aligned}$$

Здесь σ_Y^2 — общая дисперсия откликов, по предположению не зависящая от уровней факторов, а χ_M^2 — 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 парой степеней свободы [76]. Если R больше порога $r(P)$, выбираемого в зависимости от доверительной вероятности P, рассматриваемый фактор является *значимым*. В противном случае верна нулевая гипотеза.

Желательно удалить части суммы квадратов ошибок, связанные с любым важным фактором, не включенным в анализ. Если мы можем сделать это, F-статистика станет больше. При естественно-научных экспериментах такой эффект достигается проведением их в максимально однородных условиях. При математическом моделировании та же цель достигается выявлением дополнительных факторов, которые должны быть включены в эксперимент.

Два других подхода связаны с увеличением числа степеней свободы ошибочного члена. Первый состоит в увеличении числа реплик. Это самый затратный, но простой и надежный путь. Вторая возможность связана с планированием эксперимента и совершенствованием статистической модели, положенной в основу ANOVA. Средний квадрат ошибки фактически есть остаток после удаления других квадратов. Если мы найдем приемлемый путь сохранить больше данных после удаления эффектов, то получим оценку СКО с бóльшим числом степеней свободы. Критическое значение F-статистики будет меньше, увеличится мощность критерия. Именно это происходит при игнорировании некоторых взаимодействий высокого порядка.

Регрессионный анализ позволяет прогнозировать отклик в некоторой точке пространства параметров. Для простоты и определенности представим результаты полного двухфакторного эксперимента в виде

$$y = \mu + \alpha_A \cdot A + \alpha_B \cdot B + \alpha_{AB} \cdot AB + \varepsilon. \qquad (4.2.4)$$

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 (4.2.4) 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.

Скрининг-эксперименты используются для поиска факторов, которые должны быть исследованы более внимательно. 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. Кроме того, пытаются уменьшить число прогонов, не жертвуя наиболее важной информацией. Последнее соображение приводит к *дробным* факторным экспериментам.

Для получения дробного плана небольшое число эффектов выбирается в качестве *генераторов*, определяющих множество прогонов в эксперименте. Это уменьшает потребное число прогонов, но делает некоторые эффекты неразличимыми. Множество генераторов, разделенных знаками равенства, называется *определяющим соотношением* эксперимента. Дробность плана определяется долей числа требуемых прогонов от объема полного факторного эксперимента и является целой отрицательной степенью двойки.

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. Рациональный план содержит значительно меньшее число точек, чем полный факторный эксперимент.

На основе отчета о скрининг-эксперименте можно планировать дальнейшие действия: игнорировать незначащие факторы, более углубленно исследовать существенные, оптимизировать последние.

Теория планирования экспериментов является весьма развитой областью прикладной математики. В ней изучаются также многоуровневые планы, симметричные, рототабельные (вращаемые) — когда дисперсии предсказанных значений на равном расстоянии от центра плана равны [94], типа латинского квадрата и т. д. — см. [2, 70, 85, 97].

4.2.4. Техническое оснащение

В этом разделе речь пойдет об экспериментах физического или технического плана, далее для простоты именуемых физическими. В [101] приводятся схемы разнообразных экспериментальных установок: токамака, ускорителей, реакторов, химических колонн, гиперзвуковой ударной аэродинамической трубы. 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. Однако истинное мастерство состоит в получении результата максимально простыми средствами — см. [81, с. 102–103].

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.

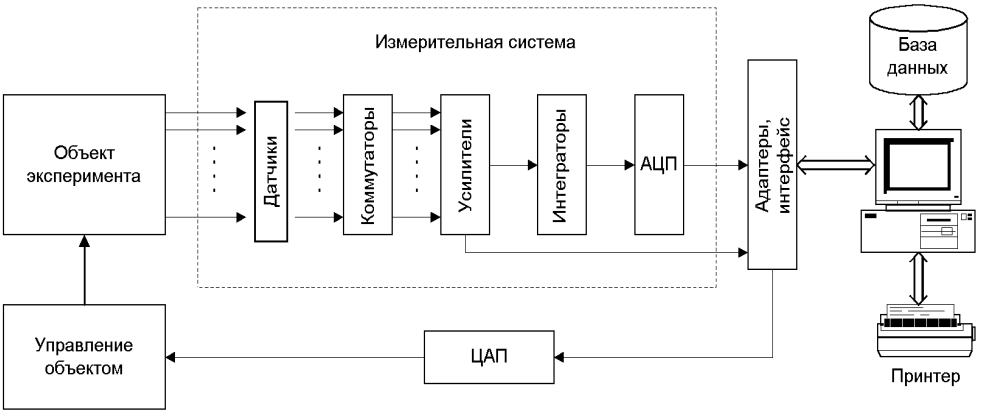

Рис. 4.1. Структурная схема АСНИ

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. Часть этих функций настраивается с помощью генераторов рабочих программ, задания для которых записываются на специализированном входном языке.

4.2.5. Средства измерения

Аппаратура должна быть надежна, откалибрована и достаточно чувствительна — измеряемые значения должны быть значительно выше порога.

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 [39, 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. [132, 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 целям эксперимента. В некоторых случаях (при исследовании надежности, отработке технологий, в биологии и медицине) должна проводиться *рандомизация* объекта. Заметим, что случайный и произвольный порядок выборки — вещи разные! Абсолютно необходима строгая регистрация исходных параметров и фоновых эффектов.

Самое важное в эксперименте и наблюдении — учиться замечать. Французский король в день начала революции написал в дневнике: «Rien» («Ничего») [114, с. 38]. С другой стороны, надо замечать не только то, что хотелось бы видеть, и по отношению к своим результатам играть роль «адвоката дьявола»[3].

[3]Лицо в процедуре канонизации святых, ответственное за контраргументы.

4.2.7. Представление результатов эксперимента

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, различия в *значениях* — диаграммой (столбчатой или секторной), многокритериальное сопоставление проводится на лучевых диаграммах (Кивиата), обсуждаемых в разд. 7.6.4. В области быстрого изменения функции точки нужно брать чаще. Выпадающие точки необходимо перепроверить.

Реальную опасность представляет собой бессознательная подгонка результатов под ожидаемые. Для профилактики Э. Резерфорд поручал делать измерения и строить графики студентам, которые не знали, что должно получиться. Кстати, сообщение (с комментарием) и менее удачных результатов служит 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 — см. разд. 9.3. Полулогарифмическая бумага обращает в прямую линию показательную функцию, логарифмическая — степенную, нормальная — функцию распределения случайной величины, распределенной по нормальному закону. Кроме того, логарифмический масштаб применяется для представления величин, меняющихся в большом диапазоне. Помните, что *на логарифмической шкале не может быть нуля*!

При определении размеров графика предпочтительно сразу ориентироваться на формат выходного документа (диссертации или книги). В последнем случае график будет заметно у́же.

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 [153, с. 124]. Основные типы аппроксимаций обсуждаются, например, в [132, с. 296]. В некоторых 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. 204.

4.3. Математический эксперимент

Акад. Н. Н. Моисеев [123, с. 168] отмечал, что математика постепенно теряет свою исключительность, приобретая право на компьютерный эксперимент. Такой эксперимент в принципе выполняется аналогично физическому, и к нему относится все вышесказанное, в том числе принципы планирования. Кстати отметим, что в *GPSS World* имеются средства полуавтоматического планирования и проведения экспериментов над имитационными моделями.

Развитие вычислительных экспериментов привело к появлению, наряду с экспериментальной и теоретической, *вычислительной физики* (в Санкт-Петербургском университете недавно учреждена соответствующая кафедра).

Достоинствами компьютерных экспериментов являются универсальное оборудование, сколь угодно малые инструментальные погрешности и исключительная гибкость. Математический эксперимент всегда проводится над абстрактной *моделью* явления, которая, однако, может оказаться недостаточно адекватной оригиналу.

4.3.1. Постановка задачи

Основной целью моделирования является постановка над моделью экспериментов с последующей *интерпретацией* их результатов для моделируемой системы. 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 могут вынужденно или намеренно не учитывать 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 [89] приводится ряд постепенно усложняемых моделей радиоэлектронных устройств — от диода до лазерного излучателя.

Всякая модель не учитывает некоторые свойства оригинала и потому является его *абстракцией*. Чем более высок уровень обобщения, тем грубее модель и 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.

Порой удается построить достаточно простую модель, которая передает основные тенденции явления в некотором диапазоне условий. 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).

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 за счет учета 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 бóльшую практическую ценность. Сравниваемые модели должны быть сопоставимы — например, должны работать при одних и тех же внешних условиях. Усложнение заканчивается, когда ввод новых дополнительных факторов перестает заметно влиять на целевую функцию.

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.

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* требует соизмеримости 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 различным 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:

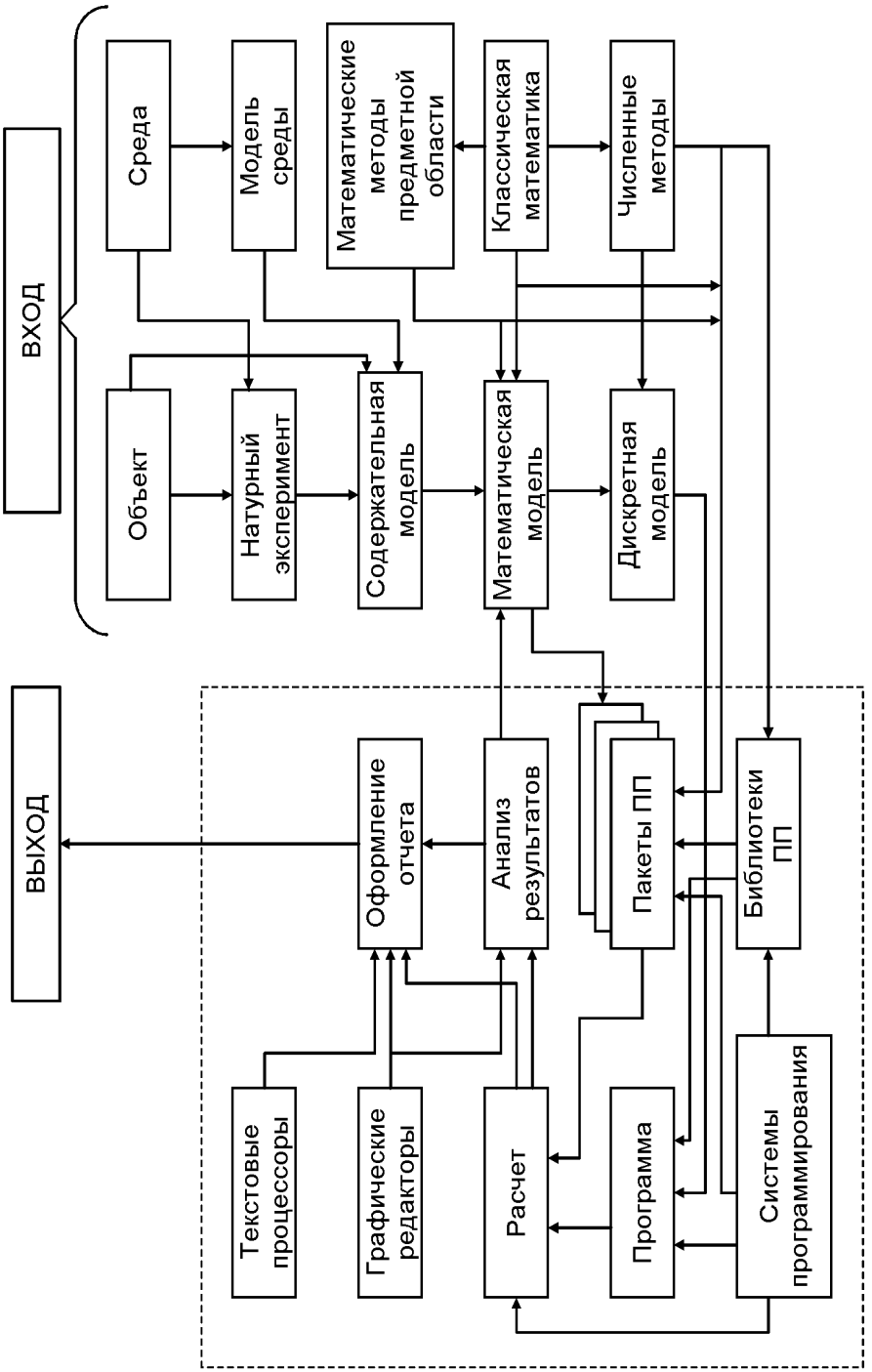

Рис. 4.2. Организация математического эксперимента

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.

Моделирование требует установления *критериев подобия*, т. е. формулировки тех условий, при которых модель может считаться закономерно отражающей (в том или ином смысле) 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, 32, 132] 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.

Весьма поучительный пример моделирования с использованием критериев подобия приводится в воспоминаниях А. Н. Крылова о его службе в опытовом бассейне [98, 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».

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. [89]) 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.

Под *внутренним* правдоподобием понимается ожидаемая точность реализации математических соотношений. Между ними должен быть разумный баланс: точность вычислений должна соответствовать точности исходных данных. Разумеется, искусственное понижение точности счета (например, счет в укороченной по отношению к формату машинного слова разрядной сетке, загрубление алгоритмов расчета стандартных математических функций) бессмысленно. 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 записыва-

ют 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 [68, 94, 132, 121].

Не все эти попытки удачны. Например, в учебнике для высшей школы [132] в нескольких местах упоминается *алгебра* — какая? Теория вероятностей предлагается отдельно от случайных процессов, которые являются составной ее частью. В свою очередь, последние по [132] не включают в себя марковские цепи. Теория автоматического управления связывается только с детерминированными задачами — давно пройденным этапом ее развития. В [94] перечень методов исследований является практически случайным: имитация, Монте-Карло, критерий Гурвица, массовое обслуживание, трапецеидальные характеристики, системный анализ, гармоническая линеаризация. В [121] выделяются теория вероятностей, отдельно теория массового обслуживания, теория игр и (?!) матричные вычисления, математическое программирование, 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 [68]. Это существенно влияет на выбор метода решения.

Под *аналитическим решением* в узком смысле слова понимают явную формулу, связывающую искомую величину с параметрами модели. Ее исследование дает весьма ценную информацию. Возьмем для примера формулу Полячека—Хинчина для среднего времени ожидания заявки в системе массового обслуживания вида $M/G/1$:

$$w = \frac{\lambda b_2}{2(1-\lambda b_1)}, \tag{4.3.5}$$

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.

Такое решение («замкнутое») всегда предпочтительно, но вывести его обычно удается лишь после ряда упрощающих предположений. Возможность его получения весьма критична к изменениям модели, 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 достичь минимальных промаха, энергозатрат или времени 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. Относительно малые слагаемые отбрасываются, нелинейные зависимости линеаризуются, случайные величины заменяются их математическими ожиданиями. Иногда оказывается достаточным даже 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, 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 — дискретные случайные процессы (стационарные).

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

При освоении техники программирования на *Фортране 90* [166] решалась задача 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 C_x — коэффициент лобового сопротивления. Составим дифференциальное уравнение в форме Мещерского для вертикального движения шара:

$$m\ddot{h} = -\dot{h}\, dm/dt - (G_0 + \gamma h) + gW\rho_0 e^{-\alpha h} - C_x S \rho_0 e^{-\alpha h}\, \dot{h}^2/2. \quad (4.3.6)$$

Здесь $dm/dt = d/dt\{(G_0 + \gamma h)/g\} = \gamma \dot{h}/g$, так как G_0, γ, g — постоянные. Поделив уравнение (4.3.6) на массу $m = (G_0 + \gamma h)/g$ и учтя, что $\ddot{h} = d\dot{h}/dt = dv/dt$, после элементарных преобразований получим

$$\begin{aligned} dv/dt &= -g + \{Wg^2\rho_0 e^{-\alpha h} - (\gamma + bG_0\rho_0 e^{-\alpha h})v^2\}/(G_0 + \gamma h), \\ dh/dt &= v \end{aligned}$$

Множитель

$$b = \frac{C_x S}{2m_0} = \frac{C_x S g}{2G_0}$$

называется баллистическим коэффициентом. Первое из дифференциальных уравнений существенно нелинейно, так что задачу приходится решать численно.

По расчету шар совершал громадные колебания от максимальной высоты почти до поверхности Земли. *Физической* причиной могла быть только какая-то дополнительная снижающая сила при потере высоты. Здесь сила сопротивления воздуха оказывалась по-прежнему направленной *вниз*, что полностью объясняло ситуацию. После исправления v^2 на $v * |v|$ (оцените его элегантность!) шар достигал максимальной высоты 1220 м на 38-й секунде полета, а далее 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 моментов 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 [163]. 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*.

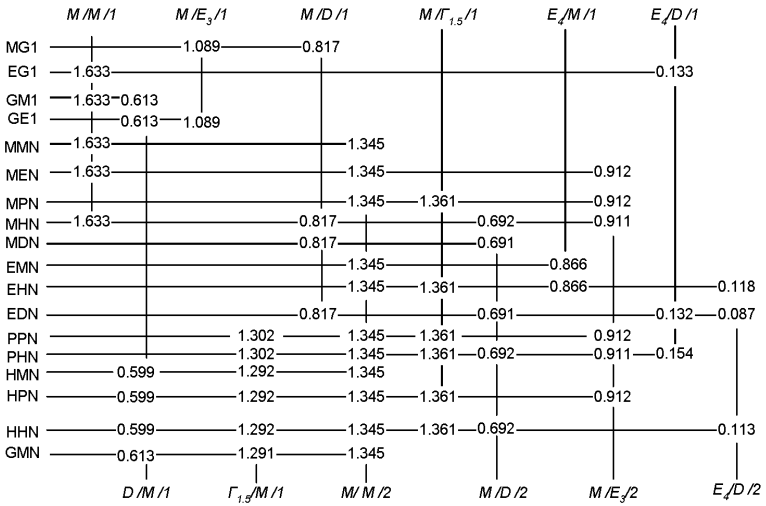

Рис. 4.3. Тестирование базовых процедур МОСТа

Задачи расчета *приоритетных* систем обслуживания удается довести только до преобразований Лапласа—Стилтьеса (ПЛС) распределения времени пребывания заявки каждого приоритета в системе:

$$\varphi(s) = \int\limits_0^\infty e^{-st}\, dF(t). \tag{4.3.7}$$

Разлагая экспоненту в степенной ряд и интегрируя почленно, устанавливаем связь между ПЛС и моментами распределения:

$$\varphi(s) = \sum_{i=0}^{\infty} (-s)^i f_i / i\,!. \tag{4.3.8}$$

Нетрудно вывести обратное соотношение:

$$f_i = (-1)^i \varphi^{(i)}(s)\big|_{s=0}\,. \tag{4.3.9}$$

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-02

  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% считается 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 подтвердили теоретические предположения:

- погрешность дифференцирования возрастает с увеличением порядка производной;
- 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, вычисляемых 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.

Текст очередного раздела или подраздела надо писать, как только по нему накоплен материал, и начинать с составления и детализации его плана. Многие соискатели подсознательно оттягивают эту работу и доводят себя до «диссертационного невроза» [175]: соискатель теряет уверенность в себе и в своей работе, становится подавленным, нервным и легко возбудимым, часто 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 — особенно тех, которые могут свести на нет уже готовые разделы. В таких случаях нужно помнить, что по авторитетному мнению того же Г. Селье [175] физиологический стресс лежит в основе прогрессивного развития организма, 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 [107, с. 42–43].

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 [145, 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 доказательства. В частности, доказательство существования определенного интеграла, т. е. существование площади, он называл «торжеством науки над здравым смыслом».

Разделяйте конструктивный (синтетический) и аналитический этапы написания рукописи: сначала напишите весь текст, а потом оцените его критически и займитесь совершенствованием. Постепенно сформируется взаимопроникновение этих фаз.

Для ускорения набора применяйте макроопределения технологического редактора. Автор, набирая средствами *Лексикона* книгу на английском языке по теории очередей, предварительно задал макроопределения часто встречающихся терминов: A — approximation, C — calculation, D — distribution, E — exponential, G — general, P — probability и т. д. Все они мгновенно набирались по клавишной комбинации [Alt]+[< буква >]. То же было сделано в другом наборе макроопределений для заготовок типовых конструкций системы LaTeX — см. приложение к [165].

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.

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. При переносах нельзя отрывать инициалы от фамилий, размерности — от предшествующих чисел, разрывать конструкции типа « и т. д.». Не переносится в следующую строку тире.

Не допускается *частичное* впечатывание иностранных текстов и формул. Скобки должны полностью охватывать обрамляемые формулы по высоте (знак корня — и по длине). Значения символов и числовых коэффициентов поясняются непосредственно за формулой в очередности их появления после «где» (без двоеточия). Формулы, таблицы и рисунки нумеруются в пределах главы. 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.

Заголовки отделяются от текста сверху и снизу тремя интервалами. Номера глав и разделов обозначаются арабскими цифрами с точками. Наименование глав записывается прописными буквами, разделов — строчными. Сокращение слов в заголовках и подписях к рисункам и таблицам, исключая общепринятые, не допускается. Перенос слов в заголовках не допускается, точка в конце не ставится.

4.4.3. Методика подготовки компиляций

Перед началом оформления рукописи полезно составить из проработанных вами источников компиляцию, структура которой будет соответствовать структуре будущей работы.

Выписки из просмотренных источников заносятся в общий файл. Каждый источник открывается стандартным библиографическим описанием в форме, необходимой для списка литературы. Для наглядности различные выписки разделяются строками из звездочек. Дальнейшая технология описывается применительно к подготовке рукописи в издательской системе LaTeX (см. главу 6) с помощью текстового редактора *Лексикон*.

1. Составить детальное оглавление будущей работы с тройной нумерацией разделов.

2. Пометить все фрагменты внутри источников трехчленными десятичными числовыми метками в соответствии с разделами, в которых предполагается их использование. Фрагменты многократного использования могут иметь несколько меток.

3. Перед каждым источником вставить строку `\bibitem{}`.

4. Для каждого источника:

   – занести в `\bibitem` обозначение источника (в типичном случае фамилию первого автора и две последних цифры года издания);

   – скопировать эту строку и поместить ее перед `\bibitem{}`;

   – заменить в копии `\bibitem` на `\cite`;

   – полученной ссылкой пометить все фрагменты, для которых в окончательном тексте необходимо указание источника.

5. Создать вспомогательные файлы с расширением `.tex`, в названия которых входят номера глав компиляции (в *Лексиконе* достаточно открыть дополнительные окна).

6. Последовательно копировать фрагменты исходного файла во вспомогательные соответственно старшей группе числовых меток (главам). Фрагменты для первой главы оставить в исходном файле. В случае нескольких меток разослать необходимое число копий.

7. Расчистить исходный файл, убрав все ненужное.

8. Скопировать библиографические описания источников в отдельный файл.

9. В каждом вспомогательном файле опять же с помощью дополнительных окон редактора упорядочить фрагменты по числовым меткам. Убрать эти метки.

10. Файл с библиографией упорядочить по алфавиту. Заключить фамилии авторов в обеспечивающую курсив конструкцию `{\it }`.

11. Дополнить заготовки глав названиями глав и разделов, необходимыми связками и *собственными соображениями*.

12. Сохранить все полученные файлы.

13. Вставить ссылки на них в сборочный TEX-файл и откомпилировать его.

Модификации предлагаемой технологии для других текстовых редакторов относительно очевидны. Разумеется, продукт компиляции — это еще далеко не диссертация. Но с него можно начать!

4.4.4. Содержание основных глав

В *первую* главу обычно включаются:

1) военно-техническое (технико-экономическое) 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).

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).

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, улучшения сходимости;
- 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 обязательно — методы *расчета* соответствующих процессов и устройств.

Последняя глава содержит результаты натурных (модельных, вычислительных) экспериментов, опытной эксплуатации, войсковых учений и т. п. Здесь должны быть *количественно* показаны преимущества предложений соискателя перед ранее известными методами решения аналогичных задач.

4.4.5. Структуризация текста

Под структуризацией текста понимаются продуманность его логической структуры и целенаправленность. Метафора В. Гюго [113, 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 особенности если работа далека от завершения. В частности, всегда возникает проблема выбора *единственного* места для материала, интересного с разных точек зрения. Ю. И. Манин [113, с. 24] приводит уникальный пример книги Линдси и ван дер Мюйлена «Неформальное введение в *Алгол 68*» с сознательно введенной ортогональной структурой. Она состоит из 8 глав, каждая из которых разбита на 7 параграфов, в числе которых — для соблюдения системы — 8 пустых. Книгу можно изучать как по «строкам» (главам), так и по «столбцам» параграфов.

Свой замысел «архитектор» далее реализует согласно составленному плану (что, разумеется, не исключает коррекции плана по ходу написания). *План дисциплинирует мысль, позволяет избежать повторов и провалов.*

Рубрикация материала позволяет компенсировать 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.

Каждый раздел пишется по схеме «план $\rightarrow$ расширенный план $\rightarrow$ тезисы $\rightarrow$ полный текст» (с оперативной коррекцией предыдущих звеньев). Так писал, в частности, Ч. Дарвин [39, 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 [109, с. 514] приведена таблица динамики потребления спиртных напитков на душу населения России (рост за 50 лет — в 7.5 раз). 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 этот эффект не обсуждается.

Любой заголовок должен правильно отражать содержание соответствующего раздела. Точка после заголовка не ставится. Членение должно быть правильным (по единому признаку, непрерывное, без пропусков и пересечений) — см. раздел о логике. Разделы нумеруются по десятичной системе (через точку, практически до трех уровней — более дробное членение лучше организовать внутритекстовыми подзаголовками с выделением их подчеркиванием или жирным шрифтом).

При изложении основной (теоретической) части работы придерживайтесь следующих правил:

1. Начинайте каждый раздел (подраздел) с указания на *цель* рассуждений и ее место в иерархии целей работы.

2. При разборе вариантов решения задачи четко определяйте специфику каждого из них; сравнивайте их для критических условий.

3. Прежде всего кратко формулируйте основную идею — ее нельзя заменить подробностями «россыпью».

4. Четко отделяйте известные результаты от *ваших собственных* предложений — в квалификационной работе это обязательно.

5. Помните, что работа адресована *специалисту*, и 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 (за счет ускорения сходимости итераций, улучшения начальных приближений, уплотнения 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).

4.4.6. Абзацы

Предложения текста, формулирующие и развивающие одну мысль, группируются в *абзац*. Логическая целостность, присущая абзацу, облегчает восприятие текста. Если несколько абзацев тесно связаны между собой по смыслу, то они отделяются от остального текста пробельной строкой. Еще более крупные фрагменты текста выделяются заголовками, набранными жирным шрифтом в подбор. Такие заголовки в оглавление работы не входят.

4.4.7. Перечни

Перечень *в целом* должен соответствовать обсуждавшимся выше общим принципам классификации. В *порядок следования* элементов перечислений всегда должна закладываться некоторая логика. Несколько контрпримеров из [108, 109]:

Технологический уровень производства не позволяет достичь требуемой точности сборки и обработки деталей.

Поскольку обработка деталей предшествует сборке, она должна упоминаться раньше.

Аналогичные проекты (сборочных производств) планируются на автозаводах в городах: Калининград (BMW), Таганрог (Daeiw), Н.-Новгород (Италия), Елабуга (Блайзер).

Производители машин не являются однородными: среди них упоминаются как страны, так и фирмы. Названия последних даются то в русской, то в латинской транскрипции, причем одно — с явной ошибкой.

Еще один пример (из руководства по методологии научной работы [16, 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.

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. Перечни набираются с дополнительным абзацным отступом.

Элементы перечней должны быть синтаксически однотипны и грамматически согласованы с вводной фразой. Эту фразу нельзя обрывать на предлогах или союзах.

Приведем два примера неудачных перечней из учебного пособия по философии [196].

1. с. 108. *Социальные противоречия — это противоречия людей по поводу таких объектов, как собственность, природные ресурсы,*

политическая власть, национальный суверенитет, идеология, культура, техника, религия, свобода, равенство, социальная справедливость и др.

В последовательности элементов нет внутренней логики. Элементы взаимно завязаны (идеология + политическая власть + национальный суверенитет + свобода, собственность + равенство + социальная справедливость и т. д.).

2. 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».

4.4.8. 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. Сразу же отметим, что при устном изложении результатов необходимо некоторое смещение к «Я» (во всяком случае при уличении докладчика в ошибке).

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 полученные в ней результаты соответствуют уровню действительного члена Академии наук. В том же году А. Д. Сахаров был избран (не только за диссертацию) академиком.

4.4.9. Диссертация и ее предшественники

Написание докторской диссертации обычно предваряется публикацией учебных пособий и монографий. Соискатель обязан учитывать различие между этими видами изданий.

В *учебном пособии (учебнике)* должны с максимально возможной простотой излагаться *основы* некоторой дисциплины. 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; математическим тонкостям. Несущественно и авторство результатов.

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 как диссертация при условии, что она:

- написана без соавторов;
- содержит полученные лично соискателем новые научные результаты, в совокупности удовлетворяющие требованиям к диссертации.

Желание использовать опубликованные материалы в рукописи *диссертации* естественно; однако это возможно только после их глубокой переработки *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.

4.4.10. 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 [113, 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 [109, с. 95].

По возможности выбирайте определения и термины из ГОСТов, словарей, энциклопедий, учебников, монографий и не отходите от них без острой необходимости, 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: «Определяйте значение слов, и вы избавите свет от половины его заблуждений», — писал Р. Декарт [153, с. 73]. В книге [177] обсуждаются способы формирования терминов и предлагается, в частности, учитывать терминологическое поле (к примеру, «функция» — в разных науках разная). 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, и авторы указаний.

4.4.11. Формулировки

При написании текста и в особенности при его редактировании нужно быть предельно внимательным к каждому слову. 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. *Длительность клинической смерти составляет 4–8 минут.*

   Такая декларация требует комментария и развития. Принято считать, что смерть — это надолго.

5. *Необходимо внести некоторую ясность в однозначное понимание указанного термина.*

   «Однозначное понимание» внесения ясности, к тому же «некоторой», не требует.

6. *Пренебрегая некоторыми членами, встречающимися в уравнении движения...*

   Члены любого уравнения фигурируют в нем не случайно и не могут «встречаться» — они *входят* в него.

7. *Осталось для завершения построения конкретного модельного базиса исследования корректности производства выбрать (или найти) самое главное.*

   Наверное, в любом деле надо *начинать* с главного.

8. *Наиболее перспективным путем в решении совокупности проблем создания высоконадежного ПО (*программного обеспечения. *— Ю. Р.) является разработка детально регламентированного технологического процесса на основе структурного подхода к обеспечению неотъемлемых свойств надежности ПО на различных стадиях его жизненного цикла.*

   Если свойство надежности — неотъемлемое, то о чем разговор? Зачем это свойство обеспечивать? И очень много лишних слов.

9. *Если раньше главенствующая роль в достижении надежностных свойств ПО принадлежала процессу программирования и значительные надежды возлагались на дисциплину структурного программирования, то теперь определяющими факторами становятся проектирование, всесторонние испытания, управление качеством разработки и — венец жизненного цикла — сопровождение ПО.*

   «Венец» жизненного цикла ПО — это не его конец, а использование по прямому назначению!

10. *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!

11. *Оперативное построение есть суть параметры орбитального движения.*

    Во-первых, «построение» — *структура*, и ее нельзя сводить к параметрам. Во-вторых, это разные аспекты проблемы (один военный, другой — баллистический). В-третьих, это неграмотно (подряд две формы глагола «быть» — третье лицо единственного и зачем-то множественного числа).

12. *Важность этой характеристики для диссертации состоит в ...*

    О важности чего-либо для *диссертации* говорить неприлично. О важности для решения проблемы — другое дело!

13. *Теория... как аппарат страдает концептуальной неполнотой.*

    Теория и аппарат — не совпадающие понятия. От аппарата не обязательно требовать концептуальности (разве что в самом общем смысле, далеко выходящем за рамки прикладных теорий). «Страдание» в данном контексте неуместно.

14. *Приближенно-аналитический метод.*

    Таких методов не бывает. Разумеется, это приближенный аналитический метод.

15. *Наиболее оптимальная топология.*

    Стандартная ошибка. Оптимальный — это уже наилучший!

16. *Решение многокритериальной задачи выбора заменим решением однокритериальной сатисфакционной задачи.*

    На каком основании? Никаких аргументов. А ведь вторая задача имеет гораздо меньшую практическую ценность!

17. *Алгоритм случайного типа.*

    Алгоритм *по определению* есть детерминированная последовательность действий, даже если включает в себя рандомизацию.

18. *Общий недостаток имитационного моделирования — резкое увеличение временнóго ресурса.*

    Не ресурса, а расхода ресурса!

19. *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.*

20. *Цель совершенствования методов научного обоснования заключается в снижении погрешности метода до уровня, при котором его достоверность достигает требуемого значения.*

    Здесь смешиваются стандартные свойства статистических оценок: погрешность (доверительный интервал) и достоверность (надежность, измеряемая доверительной вероятностью). Для фиксированной выборки сокращение доверительного интервала вызывает уменьшение доверительной вероятности.

21. *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, бо́льшим единицы? Ведь тогда знак ошибки изменится на противоположный!

22. *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.

23. *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 [108] сами переопределяют моторизацию как отношение количества транспортных средств к площади территории.

24. *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. Автор заметки сам расставил себе капкан; надо было заменить «молочный» скот «домашним».

25. *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.

26. *А были бы эти результаты, если бы у спортсменов не было еще и первоклассных тренеров, тренировочной базы, отличного пи-*

тания, 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).

4.4.12. Числовые данные и размерности

Необходимо чрезвычайно внимательное отношение к сообщаемым цифровым данным и использованию размерностей. В [98, 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 [153, с. 164] приводится сообщение о больном, температура которого была 100° (автор забыл указать «по Фаренгейту», что соответствовало 37.7° по Цельсию). В популярной книге В. Кунина «Русские на Мариенплац» цитируется письмо: «...Катька родила мальчика — 9 футов. Это сколько же в килограммах будет?» Заметим, что футы — это *мера длины* и в килограммы не переводятся. 9 футов = 2.7 м — многовато для новорожденного!! В [109, 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. Для накопленного запаса кислорода в атмосфере Земли указано $5 \cdot 14$ млн т вместо $5 \cdot 10^{14}$ [108, с. 15]. В той же книге на с. 20 заявлено, что «в конце двадцатого *тысячелетия* 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 [109, 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?

К этому же ряду можно отнести сообщение [116, 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.

В некоторых случаях простой констатации факта недостаточно. Например, заявление, что *время переключения достигает десятков нс*, можно понимать двояко: как признание успеха и сожаление о недостаточном быстродействии.

4.4.13. Цитирование

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* [147, с. 50]. Чтобы додуматься до этой «мысли», не надо быть ни ученым, ни 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 по крайней мере 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 [99, 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.

Библиографическая ссылка при цитировании предпочтительна на

первоисточник и с указанием страницы. 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 [80, 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 будет ассоциироваться 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 [109, с. 13] введены аббревиатуры: АТС — автотранспортное средство; ОС — окружающая среда. Разумеется, авторы вправе применять любые аббревиатуры, 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?» выявилась целесообразность обсуждать методы *понижения* дисперсии — МПД.

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.

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. 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. 6.9.5). 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 [59, 178] и руководствах по оформлению диссертаций [13, 99].

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 [25, 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 [109, 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 дает основание 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 исследовано и проанализировано — здесь не обсуждается. При перечислении результатов постарайтесь обойтись без громких слов типа «методология», «концепция», «подход». 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.

4.5.2. Введение

Во введение обычно помещается обзор, в котором 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. Нужно быть осторожнее с глаголами в прошедшем времени: может оказаться, что «написал» статью ... дама.

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. Если вы утверждаете, что до вашей работы в целой отрасли науки не было порядка, то берете на себя непомерную ответственность.

Начальная редакция введения и первая глава (обзор проблемы, со-

поставление 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. Последняя не гарантирует актуальность (как и актуальность — новизну).

Случается, что для решения давно поставленной комплексной проблемы нехватало нескольких элементов, и соискатель эти задачи решил. Тогда он вправе считать (с оговоркой) результатом и решение проблемы *в целом*, а элементами новизны — свои подзадачи и общую компоновку метода (проектирования, расчета, применения, эксплуатации и т. п.). Будьте осторожнее, ставя себе в заслугу комплексный или системный подход. Результат указанного вида можно засчитать, только если применено *новое системообразующее основание*.

Далее обосновывается достоверность результатов. Сообщается их теоретическое и практическое значение. Указывается (ссылками на список литературы), где результаты опубликованы. Выражается признательность руководителю, консультантам и товарищам по работе.

4.5.3. Список литературы

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 (наблюдалось и 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).

Список литературы вместе с ее аналитическим обзором может иметь самостоятельную научную ценность. Большую библиографию вместе с аналитическим обзором можно вынести в приложение к работе. Неточная библиография так же недопустима, как ошибки в телефонной

книге. 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 гл. 10 [108] 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 ссылаться на 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 [153, 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.*

Ссылки делаются на номера источников или по указателям типа [< Фамилия >, < год >]. Последний вариант в диссертации предпочтительнее, поскольку уже текст такой ссылки содержит важную информацию; однако он занимает больше места. Оба они легко реализуются средствами системы LaTeX. Фамилии иностранных авторов следует давать на языке оригинала. Названия журналов в пределах списка должны сокращаться одинаково. Нетрадиционные сокращения нужно расшифровать.

4.5.4. Приложения

Приложения к диссертации содержат вспомогательный материал, включение которого в основной текст отвлекало бы читателя от «генеральной линии» рассуждений. *Весь он* должен 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 *нетривиальные* программы вычислений или их фрагменты; 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

4.6.1. Базовые понятия

Поскольку сама техника становится все «научнее», существенной частью диссертации могут быть *изобретения*, сделанные соискателем и вносящие заметный вклад в решение выявленной проблемы. 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 благодаря «дырке» 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 тридцать пять 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.

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.

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, линейка — расческой, 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 [132] и слегка модифицирован. В теории решения изобретательских задач Г. С. Альтшуллера (ТРИЗ — см. [7, 50]) 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 [50] 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 [102] построена как полемика с автором ТРИЗ, но содержит скорее философию, чем практические рекомендации по изобретательской деятельности. Сильной стороной книги [102] является опора на теоретические концепции: системный подход, методы оптимизации, теорию устойчивости, выявление инвариантов, теорию размерностей и тензорный анализ.

4.6.2. Системный подход

Системный подход реализуется через целеполагание, иерархическую структуризацию совокупности рассматриваемых объектов и целостное их представление как нераздельной совокупности свойств.

Иерархия. Под иерархией здесь подразумевается многоуровневая организация класса моделей. На верхних уровнях рассматривается обобщенная информация, на низких — более детальная и конкретная. Применительно к изобретательской деятельности это означает, что совокупность прототипов должна быть упорядочена. Роль классификационной схемы — подвести роды под законы. Количество свойств объекта, поставленных в функциональную связь с его положением в системе, должно быть максимально. Чем более представительна группа, тем легче определить закон ее объединения (классическим примером упорядочения является периодическая система элементов Д. И. Менделеева).

Высшие уровни введенной иерархии могут рассматриваться в пространстве с бóльшим числом координат (ранее фиксированные параметры и свойства становятся управляемыми переменными), низшие — как их

проекции. Поиск оптимума ведется то в одних координатах, то в других. Чем более высок уровень обобщения, тем больше вероятность получить намного более эффективное (в сравнении с прототипом) решение.

При поиске оптимальных вариантов последовательно выбирается одно решение на каждом уровне, что резко ограничивает перебор. Каждый уровень использует свой язык и системы обозначений.

Целеполагание. Проблема может быть решена лишь при рассмотрении пространства, в котором введена отображающая цель *метрика* (целевой показатель). Перейдя от прототипа-вида к роду, нужно затем двигаться в обратном направлении — к новому виду, наиболее соответствующему поставленной цели.

Целостность. Любое устройство характеризуется множеством своих свойств и свойств своих компонент, рождающих новое качество. Показатели некоторых из них (веса, энергопотребления) попросту суммируются по компонентам. Специфика же устройства *как целого* определяется его реакцией на воздействия.

Отказ эксперта часто аргументируется тем, что предложение составляет просто сумму известных решений. Изобретатель должен показать несводимость предлагаемого устройства к сумме нескольких прототипов появлением у него *качественно новых* свойств. Формально это доказывается невозможностью расчленения математической модели на не связанные общими переменными группы уравнений.

4.6.3. Инварианты и подобие

Инварианты (законы сохранения) дают возможность предсказывать поведение систем, устанавливают границы возможного, указывают направления движения в пространстве поиска решения. Преобразования должны сохранять физические инварианты и вести к цели упрощением и сведением к известной ситуации. Если, например, разрабатывается новый планиметр, то допустимы преобразования, сохраняющие площадь фигуры.

Теория подобия служит средством перевода физических моделей в математические и обратно. Свойства математических моделей суть свойства рода по отношению к физическим, поэтому на них легче выявляется сущность. Известно, что колебательные процессы различной природы (маятник, пружина с грузом, электрический колебательный контур) описываются одним и тем же дифференциальным уравнением и формулой для определения периода колебаний — разумеется, с различно опре-

деленными константами. Функциональная зависимость между параметрами процесса сводится к зависимости между составленными из них безразмерными критериями подобия. Чтобы определить, должна ли некоторая величина учитываться при исследовании системы, необходимо составить с ее использованием безразмерные комплексы. Если это не удается, то величина исключается из рассмотрения или дополняется другими.

4.6.4. Устойчивость

Важнейшее требование к работе спроектированных устройств — это ее устойчивость, определяемая как малость выходных отклонений при малых изменениях входных воздействий. Физическим условием устойчивости всегда является *отрицательная* обратная связь, которая закладывается в структуру проектируемого устройства. Автор однажды по молодости попал в трудное положение, излагая на лекции теорию ввода начальных условий в аналоговую вычислительную машину. Составитель учебного пособия «для упрощения» выкинул из схемы инвертор, и математический анализ показал экспоненциальный рост напряжения вместо его стремления к заданному значению.

4.6.5. Оптимизация

Акад. Н. Н. Моисеев (и не только он) справедливо считает, что успех во многом зависит от того, насколько удачно исследователь сумел воспользоваться математическими методами. Простейшие оптимальные задачи решаются общеизвестными методами анализа. Однако изобретателей должны интересовать методы получения не только оптимальных значений, но и оптимальных *функций*. Здесь могут помочь вариационное исчисление, принцип максимума Л. С. Понтрягина, динамическое программирование, метод моментов. В [102] приводится задача выбора формы лотка для транспортировки сыпучих грузов. Напомним однако, что, отвлекаясь от интерпретации (истолкования) и лишь комбинируя знаки, слова или математические выражения, нельзя достичь *творческого результата*.

4.6.6. Тензорные методы

Автор тензорной методологии Г. Крон [96] и его последователи [102, 138] пропагандируют ее как средство, в наибольшей степени способствующее выявлению аналогий — типа установленных для простейших колебательных процессов, но применительно к более сложным случаям. Обычные уравнения заменяются на многомерные матричные, а последние на тензорные уравнения для координат других типов (криволинейные, движущиеся и т. д.). Этот аппарат используется и развивается в Японии; в петербургском Доме ученых много лет работал семинар по применению тензорных методов в электротехнике. Однако из-за своей сложности эти методы не получили широкого распространения.

4.6.7. Психология изобретательства

Разработке изобретения должны предшествовать постановка задачи и тщательное ознакомление с состоянием вопроса. В наше время патентный поиск связан с переработкой огромного объема информации; требования к оформлению заявок весьма специфичны и крайне жестки; процесс сильно вздорожал, а экспертиза откровенно нацелена на отклонение максимального числа заявок. Продуктивно работать на этой ниве может только изобретатель со стажем, и *начинать* такую деятельность в процессе написания диссертации без опытного соавтора безусловно не стоит. Конечно, этот совет не относится к автору гениальной идеи.

Психология изобретательского творчества близка к психологии научного, и вполне естественно, что в [102] обильно цитируется [1]. По общему мнению, обучить изобретательству нельзя, но можно воспитать творческую личность. Важнейшими ее чертами должны быть гибкость и ассоциативность мышления, противопоставляемые стереотипности. Изобретатель должен широко использовать:

модель — чтобы, концентрируя существенное, найти для анализа объект, заменяющий сложное явление;

обобщение — чтобы, отбрасывая несущественное, найти необходимую аналогию;

аналогию — чтобы подобрать способ для решения своей задачи.

Символическая аналогия требует парадоксальной формулировки желаемого: разряд — холодный, пламя — видимая теплота, прочность — при-

нудительная целостность. Последний тезис реализует обмотанный струнами бак аккумулятора давления в системах подачи ракетного топлива.

4.6.8. Групповая работа

Новыми формами групповой научной работы являются синектика и мозговой штурм. Оба метода ориентированы преимущественно на получение технических решений и потому обсуждаются в данном контексте.

Мозговой штурм состоит в коллективной генерации идей (возможно, бредовых), критика которых временно блокируется, а затем поручается эксперту. Наибольший недостаток мозгового штурма — зависимость его успеха от эксперта.

Синектика по Гордону включает следующие компоненты:

- отрешенность от предмета исследования;
- вовлеченность;
- отсрочка решения;
- фантазия (периодически);
- автономия предмета.

Творческое решение получается на основе аналогий различного вида: личная (отождествление будущего устройства с конкретным участником проекта); прямая (при разработке дозатора химической смеси — воспоминание о том, как опорожняется лошадь); символическая (образное и сжатое описание функциональной стороны проблемы); фантастическая (с игнорированием законов науки). Самым богатым источником аналогий считается биология, о чем и свидетельствует «лошадиный» пример. Полезны различия в специализации членов группы, которых предварительно отбирают и готовят в течение года.

Эксперт в предметной области оформляет и развивает отобранную группой идею.

Глава 5.
Язык и стиль диссертации

5.1. Литературные требования

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 уже М. В. Ломоносов [86]:

> «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 часто имеет основания быть недовольным, 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 совершенно 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 двадцать пять лет ситуация заметно ухудшилась, и Пленум ВАК был снова вынужден отметить «низкую требовательность отдельных диссертационных советов к стилю изложения диссертационных работ и рефератов» (Бюлл. ВАК, 2003, № 1).

Поиск оптимальной формы научного произведения идет на всех стадиях исследования. Научить соискателя написать (в узком смысле слова) работу — одна из важнейших (и, как показывает опыт, 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 представления диссертации править ее уже нельзя).

Подчеркнем, 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.

5.2. Грамотность

Самое серьезное внимание соискатель должен обратить на грамотность (лучше еще до написания диссертации). Особенно позорны ошибки 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» [17, 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» [121, с. 15]. В книге В. Пекелиса [137] на с. 186 трижды пишется об «элЕксире творчества» — ошибка явно не случайная и свидетельствующая о недостатке общей культуры автора или редактора (liquid = жидкий).

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 ... Основываясь на концептуальных положениях теории систем Месаровича, каждый из названных объектов должен описываться как сложный и многоуровневый.*

   «Жалобную книгу» А. П. Чехова вспоминаете?

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» [17]. 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 [17] стилистических ошибок:

Несомый быстрыми конями рыцарь низвергся с колесницы и расквасил себе рожу.

Смешиваются высокий и низкий стиль.

Мне нужна красная роза, и я добуду себе таковую.

Поэтический стиль смешивается с канцелярским.

Воины купаются в реке... Авиаторы пьют чай.

Типичный 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.

В древнем Новгороде они первыми завоевали почетное звание бригады коммунистического труда.

Ошибка очевидная по следствию, но очень тонкая. Здесь из ряда синонимов *старинный, древний, античный, исторический* выбран неподходящий.

Физики (и политики) говорили о неисчерпаемости атома. Лингвисты считают, что Слово тоже неисчерпаемо. Хорошо известно, что «В начале было Слово». Есть мнение [69], 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, кстати, 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.
- Доказывать, аргументировать, убеждать.
- 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.
- Лектор, ритор, оратор, докладчик, выступающий.
- Глобальный, всемирный, всеобщий, тотальный.
- Инновация, нововведение, новинка, новость, новообразование.
- Колебание, отклонение, вибрация, флуктуация, дрожание.
- Критерий, показатель, фактор.

Как пример ошибки обсуждаемого вида приведем заявление [108, 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» [24, 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; квадратическое, квадратичное и квадратное. Вызывает затруднения использование противоположений: статический — динамический, стохастический (статистический, вероятностный) — детерминированный. Портят стиль канцелярские штампы (*в целях, в деле, проводить обследование, поднятие, встает вопрос*). Сплошь и рядом некорректно используется словосочетание «за счет» (вместо «с помощью», «посредством», «через», «благодаря» и т. п.).

Нужно осторожно обращаться с иноязычными заимствованиями. Они часто приводят к скрытой синонимии: реакция взаимодействия, определение детерминанта, эффект действия, инициативное начинание, габаритные размеры, промышленная индустрия, сервисное обслуживание. В задачнике по *логике* (!) [45, 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 [54] 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.

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 типа интернетовского «юзер», «емеля» — e-mail (электронная почта), «таск» (task) — задача, «междумордие» — интерфейс. Целому ряду подобных терминов нельзя отказать в выразительности: «мышедром» — коврик для «мыши», «числогрыз» — персональный компьютер (вспомним, что Г. Р. Державин переводил «фортепиано» как «тихогром»). Тем не менее в официальной устной и тем более письменной речи они неуместны. «Юзать такой софт», заменять программиста на «программера», а сообщество на «комьюнити» не следует. Однако не нужно впадать и в противоположную крайность (Ф. А. Кузин [99, 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[1]. Стили — своеобразные регистры языка, позволяющие переключать его с одной сферы общения на другую. 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» [183].

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».

Выше было сказано, что...

[1]Термин «магистр» означает «мастер» — следовательно, предполагает достижение мастерства. Тем более это относится к кандидатской и докторской степеням.

«Сказано» могло быть только раньше.

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.

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»!

Существует значительное количество взаимосвязей между оружием, боевой техникой и организационной структурой свойств. Одни отличаются своей непосредственностью, другие менее заметны.

«Непосредственность» автора восхищает. Этот термин уместен в психологии, но не в теории боевой эффективности.

Ее (задачи) решение также является известной проблемой.

Что известно: проблема или решение?

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?

Допустимые значения параметров неионизирующих излучений не имеют биологического обоснования и отражают лишь техническую допустимость параметров электромагнитного поля.

Тогда в чем смысл технической допустимости?

Рассосредоточение...

Две приставки противоположного смысла.

Низкие показатели...

А показатель чем меньше, тем лучше.

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!

Оценка травмобезопасности рабочих мест проводится организациями, имеющими разрешение органов Госэкспертизы на право проведения таких работ.

Достаточно иметь «право» или «разрешение».

Стоимость остается достаточно высокой.

Термин «достаточный» подразумевает удовлетворенность. Вряд ли кто-то (кроме спекулянта) может радоваться высокой стоимости.

Существенным препятствием является сложность исследования существенно различных форм существования программ.

Три «существенности» в одной короткой фразе — явный перебор.

К этой коллекции хочется присоединить пример из задачника по логике [45, с. 223] на выяснение вида аналогии:

Гремучие змеи обладают термолокаторами, обеспечивающими измерение температуры с точностью до 0.001° С. Караси могут обнаруживать вещества по запаху, если в 100 м^3 воды будет растворен всего 1 г этого вещества. Эти свойства живых организмов используются для построения технических приборов.

Создается впечатление, что упомянутые животные *непосредственно* включаются в состав технических устройств. Карась — пусть, но гремучая змея — очень опасная деталь! К тому же, их ведь надо кормить! Вероятно, имелось в виду заимствование *принципов построения* их органов чувств.

В заключение этой серии вернемся к вопросу о штампах. Важно различать штампы как отрицательное явление и *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"» [69].

Осмысленное владение математическим аппаратом почти автоматически организует процесс мышления, невольно заставляет искать точные слова. Человек даже с весьма умеренной математической подготовкой не поддержит тезис *Ни один минимум не является максимумом* [54]: 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 [17, 39, 48, 78, 136, 153] 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 также и ученым» (Я. И. Френкель, [125, с. 74]). Все краски языка применяли многие русские ученые. Процитируем, к примеру, И. М. Сеченова [146, 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».

Эти традиции продолжались и в советский период. По акад. Е. Н. Павловскому [146, 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 [183] 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 термины "странность", "очарование" (применительно к кварку) в физике, "доверительная 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"».

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) [69]:

> «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».

Полезно иметь под рукой список служебных слов, *организующих* научное изложение. Такие слова:

- заключают ранее приведенные рассуждения (*поэтому, отсюда, следовательно, тогда, таким образом, тем самым, 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*;
- определяют степень достоверности: *известно, установлено, доказано, считают, конечно, безусловно, естественно, утверждают, полагают, возможно, вероятно, по-видимому, потенциально, не исключено* и т. п.

Обороты типа *некоторый, некий, надлежащий, соответствующий, что-то, где-то, кое-где, как бы, иногда, известный, подходящий, специальный* нежелательны, так как нагнетают, а не устраняют неопределенность. 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, временные и т. п. 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:

- 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. *Динамическое сведéние обычно настраивается посредством регулировки внутренних потенциометров, отвечающих за напряжение, подаваемое на катушки магнитов, расположенных на узле крепления шейки кинескопа.*

   Гирлянда причастных оборотов. Пользователю цитированной книги (учебник по электробезопасности) эти свéдения не нужны вообще.

3. *В то же время, учитывая опыт зарубежной и отечественной практики, из которой следует, что 80% из общих трудозатрат производства уходит на организацию и проведение испытаний, причем далеко не той полноты и масштаба, а главное не того уровня специфической формализации, как ожидается в представленной постановке, очевидной становится необходимость осуществления их комплексной автоматизации.*

   А можно и так:

   По зарубежному и отечественному опыту, 80% трудозатрат производства ПО приходится на испытания. В предлагаемой технологии их объем гораздо больше. Очевидна необходимость комплексной автоматизации испытаний.

4. *Предложенная в работе концепция структурированной надежности вместе с аппроксимационным приближением к идеальной (тотальной) правильности ПО и типизированным (с позиции свойств вычислимости) обеспечением корректности его производства требует проведения регулярного оценивания потенциальной устойчивости программоформ (как степени безошибочности или нечувствительности к ним), уровня возникающей сложности и объема трудозатрат.*

Мысль ветвится невероятно. Фраза изобилует синонимами: «аппроксимационным — приближением», «идеальной — тотальной», «устойчивость — нечувствительность». Достаточно сказать, что

Концепция структурированной надежности ПО предполагает регулярное оценивание его сложности и трудозатрат и прогнозирование устойчивости работы.

5. *Актуальна задача построения системы, обеспечивающей автоматизацию процессов определения множества исходных данных, необходимых для решения задач и получения требуемых результатов, нахождения цепочек модулей и соответствующих им промежуточных данных, ее тестирование, синтеза задания на сборку специализированной программной системы, что в конечном итоге позволяет освободить программиста от рутинной работы, которая в ряде случаев в виду большой трудоемкости практически не выполнима.*

   Фраза естественно делится на две. Первую часть нужно оформить перечнем. Вторая — с «конечного итога» — не содержит полезной информации и к тому же возлагает на программиста заведомо невыполнимую работу; «конечный» — излишне в любом случае. Вторую часть лучше изъять.

6. *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.

7. *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.

8. *Для переноса аппарата метрических соотношений, прогнозирующих объем трудозатрат отдельных текстов программ, на сложные программные образования целесообразно ввести усредненное статистическое понятие «потенциальный программный модуль», основанное на том, что, независимо от методов и способов разбиения программного обеспечения на модули, существуют объективные ограничения на количество параметров, которое разработчики в состоянии оценить в их взаимосвязи.*

   А так — не лучше?

   Существуют объективные ограничения на количество параметров, которое разработчики могут оценить в их взаимосвязи. На этой основе введем усредненное понятие «потенциальный модуль». Теперь можно применить аппарат метрических соотношений, прогнозирующих трудоемкость отдельных программ, к программным комплексам.

5.4. Математика и поэзия

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, [116, с. 115]). Емкость и лаконизм математических и близких к ним рассуждений определенно сближают математику с поэзией. Приведем выдержку из предисловия к сборнику [116] афоризмов о математике:

> «Математика, как это ни парадоксально, в определенном смысле "родственница поэзии". Несмотря на всю свою слож-

ность 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».

В частности, К. Вейерштрасс [116, с. 112] полагал, что «нельзя быть настоящим математиком, не будучи немного поэтом». Того же мнения придерживалась и его любимая ученица С. В. Ковалевская. Это сходство видели и крупнейшие *поэты* — в особенности те из них, которые гармонично сочетали лаконизм, форму и содержание. Прежде всего вспоминаются 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!

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.

Ода Канкэй

Когда собака из Спутника
Смотрит на мир сверху вниз,
Представляете,
Какое надменное выражение
Написано на ее морде?

Мибаси Такадзё

Взгляни в дыру доски:
Луна обрезана ее краями.
О кругозор людской!

Кудзухара Таэко

Если смотреть
Сквозь просвет
В железной решетке,
Кажется, что снег
Идет гуще.

Исикава Такубоку

Ладонью
Отирает снег
С лица, запорошенного
метелью,
Товарищ мой,
Сторонник коммунизма.

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.

С. Кистерский

Течет меняется
Многое уже произошло
Все по-прежнему

И. Колганова

В новом зеркале
Ищет женщина
Свой прежний облик.

Д. Шекебаев

Мой дедушка — старый
Призывает не баловаться
Видно, сам не может шалить

Глубочайшее восхищение японской поэзией испытывал, например, В. И. Петрик (президент НИИ физики фуллеренов и новых материалов) — крупный специалист в психологии, философии, физике, химии, математике, биологии, экологии, одаренный художник, музыкант и скрипичный мастер (*А. Бондаренко*, Служение на благо России. — «СПб. Ведомости», 23.05.2003).

Надеюсь, читатель простит автору хокку, родившиеся в дни фестиваля японского искусства (Санкт-Петербург, июнь 2006 г.):

Пью зеленый чай.
В стекле дисплея
Отражается Будда.

Плачет осенний дождь.
Реформа ЖКХ.
Плачут наши денежки.

Лето. Плавятся мозги —
У кого есть.
Иду принимать зачет.

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 [39]. 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 на 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 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, [105, 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. 7.6);
- 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» [10]. 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 [177] — 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. [59, 178, 193]. Там же описаны корректурные знаки и их применение.

После завершения редактирования выполняется *верстка*: ранжировка заголовков, оптимальное размещение рисунков и таблиц, финальная компоновка страниц и рукописи в целом. Затем делаются распечатка, вклейки, проверка комплектности. Наконец, рукопись переплетается.

5.6. Как нельзя писать книги

Приведенные выше рекомендации по написанию квалификационных работ в еще большей степени относятся к многотиражной литературе, в особенности учебной. Здесь ответственность автора 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, [179].

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» [196], 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. 108. *Антагонизм выражается в крайних формах конфликтных и массовых социальных действий, в непосредственном физическом столкновении людей.*

Антагонизм может и не доходить до физического столкновения. По контексту последнее воспринимается как драка. Кстати, «огневой контакт» мягче физического столкновения?

2. 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 консенсусов М. Горбачева. «Умелое сочетание» — чрезвычайно конструктивный совет! Лично он «сумел» с поразительным эффектом, который мы расхлебываем до сих пор.

3. 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.

4. 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.

5. с. 119. *В малой дозе мышьяк — лечебное средство, в большой концентрации он — яд.*

Нельзя путать количество (дозу) и концентрацию вещества. Здесь дело — только в количестве.

6. с. 120. *Разграничивают разовые скачки и постепенные.*
«Постепенный» скачок как-то трудно себе представить, даже если имелся в виду тройной прыжок легкоатлета.

7. с. 123. *Продукты растениеводства измеряются в кормовых единицах.*

Во-первых, измеряются не продукты, а их сбор. Во-вторых, не все они предназначены в корм скоту. А пшеница, хлопок, лен? Лекарственные травы? Сырье для парфюмерной промышленности?

8. с. 131. *Ребенок, подросток, юноша, молодой человек, зрелый и пожилой возраст, старость — таковы ступени трансформации человека как личности.*

«Старость» и «старик» — это разные понятия. И не следует так прямо связывать с возрастом трансформацию личности (если не ограничиваться медицинскими аспектами).

9. с. 167. *На уровне сознательной обработки информации в логических процессах используются общественная практика, опыт, эмоциональные моменты, которые преобразуют логику мышления.*

Ход мышления, может быть, и преобразуется; его *логика* — нет.

10. Там же. *В машинах ... память статическая, при которой происходит фиксирование того или иного результата раз и на все время в одном состоянии.*

Что значит «на все время»? А если значение переменной (например, параметра цикла) многократно изменяется? Опять же бывало, что регистровая память реализовывалась на *динамических* триггерах.

11. с. 186. *Топор, независимо от того, изготовлен ли он из кам-*

ня, меди или железа, в известных условиях действует с одинаковым эффектом.

Если бить обухом — то пожалуй.

12. Там же. *Воспроизведение такого рода процессов по удовлетворению потребностей людей запечатлевалось в их мозгу, они (как, впрочем, и звери) мысленно учились отличать внешние предметы, служащие удовлетворению их потребностей, от всех других предметов.*

«Звери *мысленно* учились отличать... » На протяжении всей книги постоянно (но неубедительно) подчеркивалось, что мыслить может только человек.

13. с. 191. *Объективная истина находится в постоянном развитии, становится более полной с каждым новым открытием.*

Меняется не истина, а наше представление о ней.

14. Там же. *Относительная истина — это знание, которое приближенно и неполно воспроизводит объективный мир.*

Не воспроизводит, а отражает. И не весь мир!

15. Там же. *Геометрия Евклида представляет собой относительное знание, поскольку обобщает человеческий опыт в привычных для нас трехмерных пространственных условиях и непригодна для относительно больших пространств.*

Насколько больших? И не следует припутывать к понятию масштаба вопрос о мерности (количестве измерений).

16. с. 192 — о диалектическом понимании принципа конкретности (из Н. Г. Чернышевского): *Например, война 1812 года была спасительна для русского народа.*

Не война была спасительна, а оборона России! Ошибка у Чернышевского не оправдывает цитатчика.

17. с. 203. ... *Выработка региональных и общенаучных форм и средств познания.*

Эпоха региональной (советской) специфики в науке осталась в прошлом, и возвращать ее явно не стоит. Если речь идет об области исследования, это надо было пояснить.

18. 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.

19. с. 311–312. *Мир техники имеет свои законы развития . Их содержание определяется главным предназначением техники — слу-*

жить 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» [176, 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).

20. с. 368. *Волокнистая оптика.*

Нет слов!

21. 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.

22. 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.

23. с. 381. *Практическое освоение окружающего мира должно основываться на знании закономерностей эволюции биосферы, поскольку их нарушение ведет к подрыву механизмов саморегуляции, к ухудшению качества окружающей среды.*

Закономерности не нарушаются — наоборот, ухудшение качества среды при превышении порога воздействия является их прямым следствием.

Нельзя оставить без внимания «Введение в современную точную методологию науки» [24]. 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 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 [137], 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 [108, 109]. 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. 56. *В развивающихся странах более 20 млн. жителей ежегодно мигрируют в города, поскольку сельское хозяйство позволяет крупным землевладельцам скупать небольшие фермы.*

Надо видеть разницу между сельским хозяйством и сельскохозяйственным законодательством.

3. 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!

4. с. 83. *Обеспечение послеаварийной безопасности связано с отсутствием разгерметизации топливной системы, возможностью возгорания обшивки салона, а также наличием токсичных веществ в продуктах ее горения.*

Здесь авторы незаметно для себя «переключили полярность»: желательны *невозможность* возгорания обшивки и *отсутствие* токсических веществ в продуктах горения. К тому же, «и» следует заменить на «или»: не имеет смысла писать о продуктах сгорания негорючей обшивки.

5. с. 86. *Потребление природных ресурсов (угля, газа, нефти, электроэнергии, пара, тепловой энергии) происходит в процессе производства конструкционных и эксплуатационных материалов.*

Электроэнергию трудно считать *природным* ресурсом.

6. с. 116. *Необходимым элементом перемещения является наличие дороги.*

Свежая мысль!

7. с. 308. *Среди факторов прямого действия загрязнение воздуха занимает, безусловно, первое место, поскольку воздух — продукт непрерывного потребления организма.*

Не продукт, а предмет!

8. с. 310. *Формальдегид ... поражает внутренние органы и анактивирует ферменты, нарушает обменные процессы в клетке путем подавления цитоплазматического и ядерного синтеза.*

«Ядерный синтез» в этом контексте правильно воспримет только квалифицированный биолог.

Этот перечень приходится продолжить цитатами из второго тома:

9. с. 13. *В данном случае (при рассмотрении портрета Моны Лизы. — Ю. Р.) существует выигрышное расстояние, наиболее оптимально и полно отражающее работу великого мастера.*

В книге приводятся компьютерные версии репродукции, что в тексте не оговаривается. Максимальное приближение к *оригиналу* даст совсем другую картину (структуру мазка), которая для художника-профессионала может представлять большой интерес. «Наиболее оптимально» — сочетание, позорное для любого инженера.

10. 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?

11. с. 19. *Однако трудно представить себе сегодня изолированный автомобиль.*

Эта трудность преувеличена. Если же речь идет об автомобиле в контексте дорожного движения, нужно было сказать прямо.

12. 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».

13. 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 все равно не убережешься. В-третьих, процессор — тоже достаточно умная вещь. В-четвертых, имеется аппаратно (= *железно*) реализованное программное обеспечение (прежде всего BIOS).

14. 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.

15. с. 354. *Все это обозначает необходимость и более грубых моделей, в которых, тем не менее, в силу относительно невысокого числа внешней информации, ошибка моделирования не становится качественно больше.*

Фраза бессмысленная и безответственная.

16. 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!

17. с. 473. *Для более детального изучения проблемы размер сетки может быть увеличен.*

Здесь допущены сразу три ошибки: не может, а должен; не размер сетки, а размер ее квадрата; не увеличен, а уменьшен.

18. с. 600. *Шум транспортных средств оказывает негативное воздействие на население, проживающее в тихих загородных районах.*

При таком шуме называть район тихим нельзя.

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. [166, 167, 168, 169, 171, 172]), 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

Большинство диссертантов катастрофически недооценивает 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 [25].

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, о чем свидетельствует сопоставление *Word*'овского набора 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. Результирующие файлы оказываются чрезвычайно громоздкими. Так, набор двухстраничного текста, насыщенного

математикой (теория аппроксимации распределений гамма-плотностью с поправочным многочленом), в *Word*'е занял 77 Кбайт, в *Ami Pro* — 348 Кбайт. Для сравнения укажем, что в описываемой ниже системе LaTeX тот же текст в исходном виде занял всего 5 Кбайт, а в подготовленном для печати DVI-файле — 9.5 Кбайт.

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 [55, 56, 92, 110, 165, 184].

Слабым местом TeX'а являются ограниченные графические возможности. Ассоциированная с ним система *Gnuplot* (см. разд. 6.9 и [165]) позволяет строить графики по несложным математическим зависимостям и занесенным в файлы таблицам. Для *рисования схем* различного вида идеально приспособлена система *Visio*. Она содержит многие десятки наборов трафаретов для элементов схем алгоритмов, преобразования и передачи данных, функциональных схем, структурных диаграмм различного назначения [79], технологических потоков и т. п. Нужные элементы перетаскиваются из трафарета в рабочее поле, перемещаются, масштабируются, автоматически соединяются, снабжаются надписями.

Материалы этой главы позволят читателю получить начальное представление о *Visio*. Более подробные описания приводятся в [133, 167].

Новейшие версии TEX'а позволяют выполнять вставку рисунков, выполненных в других системах; поворачивать, зеркально отражать и масштабировать их.

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 две формулы, выведенные С. Рамануджаном:

$$\begin{aligned}
\sum_{y_1=-\infty}^{\infty} \cdots \sum_{y_n=-\infty}^{\infty} &\Bigg[\prod_{1\le i<r\le n}(1-(z_i/z_r)q^{y_i-y_r})\Bigg] \\
\times\ &\Bigg[\prod_{i=1}^{n} z_i^{ny_i-(y_1+\ldots+y_n)}\Bigg]\cdot(-1)^{(n-1)(y_1+\ldots+y_n)} \\
\times\ &q^{n[\binom{y_1}{2}+\ldots+\binom{y_n}{2}]+(y_1+2y_2+\ldots ny_n)}\cdot x^{y_1+y_2+\ldots+y_n} \\
=\ &[(-xq)_\infty(-x^{-1})_\infty(q)_\infty]\Bigg[(q)_\infty^{n-1}\Bigg[\prod_{1\le i<r\le n}(z_i/z_r)_\infty(qz_r/z_i)_\infty\Bigg]\Bigg].
\end{aligned}$$

$$\prod_{n\geq 1}\frac{n!}{\sqrt{2\pi(n+1/6)}(n/e)^n}\approx \quad 1+\cfrac{1}{128+\cfrac{1}{40+\cfrac{1}{18-\ldots}}}$$

Попробуйте набрать их в *Word*'е с тем же качеством воспроизведения: проклянете все на свете!

Каждая издательская система на базе TeX'а представляет собой пакет 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. Шагом в сторону LaTeX'а является $\mathcal{AMS}$-LaTeX. Наконец, в новой версии LaTeX 2_ε интегрируются (ценой усложнения работы и увеличения объема программного обеспечения, а также резкого повышения требований к аппаратуре) возможности всех перечисленных систем.

Ниже описаны *основы* работы с реализованной Э. Маттесом на персональных компьютерах типа IBM PC системой emTeX, включающей в себя в минимальном варианте:

- 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 (`dviscr`) и на печать (`dvidot`) `DVI`-файлов;
- реализацию на ПЭВМ компилятора шрифтов MF, разработанного Д. Кнутом.

За основу взята наиболее экономичная версия системы, реализующая LaTeX 2.09 под управлением *MS-DOS* и требующая примерно 10 Мбайт дисковой памяти.

6.2.1. Структура LaTeX-программы

LaTeX-программа состоит из основного текста и TeXнических команд. Она набирается средствами любого текстового редактора в формате ASCII (файл *MS DOS*) 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. Аргумент в фигурных скобках является обязательным. 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 — *стили*, определяющие оформление рукописи (компоновку страницы, структуру и шрифты заголовков разделов и т. п.) в зависимости от характера документа. Стандартными считаются четыре стиля: article, book, report, letter.

Рукопись в целом состоит из преамбулы и собственно документа. В преамбуле обязательна ссылка на стандартный стиль типа

```
\documentstyle[12pt,russian]{article}
```

Здесь (в квадратных скобках) использованы и необязательные параметры команды: 12 pt задает кегль (размер) шрифта (1 pt = 0.35 мм), а russian заменяет базовую английскую таблицу переносов и ключевые слова типа chapter («глава») их русскими аналогами.

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 или математической моде (режиме) и соответственно считает разрешенным то или иное подмножество символов. Шрифты принадлежат к семейству `Computer Modern`. Наиболее употребительны из них:

- прямой `{\rm }` — для набора основного текста;
- курсив `{\it }` — для логических акцентов;
- машинописный `{\tt }` — для набора конструкций языков программирования, пунктов меню, команд программных продуктов и т. п.;
- полужирный `{\bf }` — для заголовков, не выделяемых отдельной строкой;
- без засечек `{\sf }` — для улучшения читаемости мелкого набора (этим шрифтом набрана данная книга).

В фигурных скобках указаны команды их вызова. С помощью команд типа `\small`, `\large`, `\Large` автор может задавать локальные изменения *размера* шрифта (мелким шрифтом обычно набираются примеры, частности, исторические обзоры и т. п.). При переключении размеров шрифта его тип автоматически меняется на «прямой светлый». Поэтому смена типа шрифта должна указываться *после* смены размера в фигурных скобках, окаймляющих набираемый фрагмент.

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 с помощью команды `\label{<ключ>}`. Метки раздела рукописи и таблицы помещаются в их заглавия, 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 () ». 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 на литературу 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 или каталогах, указанных в переменной окружения TEXINPUT. Запуск компилятора производится командой

```
latex <имя_корневого_файла>.tex
```

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

В процессе своей работы компилятор высвечивает (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.

При вводе из нескольких файлов с началом обработки каждого очередного файла выводится его имя.

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;
- 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, \epsilon, \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;

[S] — продолжай работу, не спрашивая новых указаний (равносильно [Enter] в ответ на каждый запрос);

[X] — принудительное завершение работы (DVI-файл будет содержать все полностью сформированные страницы).

При большом числе ошибок имеет смысл набрать [X] и попытаться исправить первые ошибки, зафиксированные в LOG-файле. Исправления надо вносить в исходный TEX-файл, для чего крайне желательно иметь его распечатку, сделанную через любой текстовый редактор. 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. Удобен следующий порядок работы:

1. Просматривая LOG-файл, выписать страницы рукописи и ссылки на строки исходного файла, где ширина абзаца превысила допустимую более чем на 2 pt (можно загрубить чувствительность компилятора, поместив в преамбулу команду `\hfuzz=2pt`).

2. Найти эти абзацы в исходных файлах и внести их начальные слова в тот же «проблемный» список.

3. Просматривая DVI-файл, отыскать на каждой «проблемной» странице по зафиксированной информации критический абзац, спланировать и внести в список корректирующее действие.

4. Внести эти исправления в исходные файлы.

5. Повторить компиляцию.

6.3.4. Просмотр DVI-файла

Обязательным этапом отладки является «подстройка по факту»: коррекция действий автоматики, которая не может предусмотреть все или не справляется с трудными проблемами. Продукт компиляции оценивается в процессе просмотра DVI-файла, который организуется командой `v <имя_файла>`. Целый ряд ошибок, не диагностируемых компилятором (например, пропуск слэша перед командами `lambda, frac, sum, right` и т. п.), при просмотре становится очевидным. Обнаружив ошибку, следует выписать ее характер, номер страницы и облегчающий локализацию контекст. Контекст используется для автоматического (средствами технологического редактора) поиска ошибки в исходном файле, а номера страниц — для контроля исправлений по результатам перекомпиляции.

Автор текста имеет следующие возможности управления просмотром:

[Home], [End] — смещение к началу/концу страницы;

[PgUp], [PgDn] — предыдущая/следующая страница;

[Ctrl]+[PgUp] — первая страница;

[G]+[<число>] — указанная страница;

[S] — поиск текста (будет запрос на образец);

«серые» [+]/[−] — увеличение/уменьшение изображения.

После появления изображения нужно по [Home] высветить начало страницы и нажатием [H] сделать это положение стандартным. Нижняя половина страницы будет высвечиваться по нажатию [End]. Заметно медленнее прочих выводятся страницы, содержащие рисунки (в особенности трехмерные).

Поиск текста (только английского) осуществляется вперед, заглавные и строчные буквы различаются. Начало найденного вхождения отмечается перекрестием линеек.

При работе с рисунками может потребоваться измерение изображения. Перечислим клавишные комбинации, управляющие режимом линейки (`ruler`):

[R] — включение/выключение линейки;

[Ctrl]+[R] — включение/выключение градуировки на ней;

[Ctrl]+[U]/[U] — уменьшение/увеличение единиц измерения;

[C]/[F] — увеличение/уменьшение шага перемещения линейки.

Использование линейки полезно для отслеживания читаемой строки и в особенности при сверке набора таблиц и многострочных формул (для контроля строки и позиции). При включенной линейке нажатие клавиш перемещения курсора будет сдвигать не текст, а линейку.

Выход из просмотра `DVI`-файла осуществляется нажатием [Q].

6.3.5. Распечатка `DVI`-файла

Распечатка результата компиляции организуется командой вида

`prt <имя>.dvi`

В командах распечатки можно указать дополнительные опции, записываемые через слэш. Выбором выводимых страниц управляют опции:

`/b<номер>` — начальная страница печати;

`/e<номер>` — конечная страница;

`/n<число>` — число страниц.

Достаточно указать набор опций, полностью определяющий ситуацию, с учетом очевидных по умолчанию значений `b`, `e`, `n`. При распечатке начиная с первой (ненумерованной) страницы опцию `/b1` указывать не следует.

Режим /tr5 обеспечивает необходимую для вывода на типографскую пленку «зеркальную» печать. Опция /tr1 поворачивает изображение на 90°. Ее можно использовать и для просмотра DVI-файла на мониторе с поворотным экраном. Из рисунков будут поворачиваться только выполненные в формате PIC.

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). 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. 6.1 указаны способы набора обозначений основных операций и базовых математических понятий.

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].

[1] То же относится к числителям и знаменателям дробей, пределам и т. п.

Таблица 6.1. 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`	∇

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.

Команда \stackrel{<верх>}{<низ>} печатает первый аргумент непосредственно над вторым и более мелким шрифтом. Равенство по определению

$$\vec{v} \stackrel{\rm def}{=} (v_x, v_y)$$

будет набрано по команде

```
$$ \vec{v}\; \stackrel {\rm def}{=}\; (v_x,v_y) $$
```

Для работы с многобуквенными обозначениями векторов типа

$$\overrightarrow{OA}+\overrightarrow{AB}=\overrightarrow{OB}$$

нам потребуется конструкция

```
$$ \overrightarrow{OA}+\overrightarrow{AB}
                        =\overrightarrow{OB}
$$
```

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

```
$$ x_{1,2}=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a} $$
```

Круглые, прямые и квадратные скобки набираются обычным способом. *Входящие в набор* фигурные скобки для их отличения от символов группировки представляются в форме \{, \}. 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. В общем случае (с учетом возможной разницы в базовых размерах и ограниченности имеющегося диапазона) размер скобок подбирают экспериментально.

Парность LaTeX контролирует только для скобок группирования и скобок с автоматически регулируемым размером. Парные `left` — `right` скобки должны оказаться в одной строке *набора*. Обход указанных ограничений (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 и при указании условий вычисления выражения:

$$\left.\varphi^{(k)}(s)\right|_{s=0}=(-1)^k f_k, \qquad k=1,2,\ldots$$

Оно было набрано командами

```
$$
\left.\varphi^{(k)}(s)\right|_{s=0}=(-1)^k f_k,
\qquad k=1,2,\ldots $$
```

Внутри формул допустимы знаки пунктуации (точка и запятая — например, в списке аргументов). Восклицательный знак TeX как знак препинания в математической моде не воспринимает.

Многоточия существуют четырех видов:

$\ldots$ — `\ldots` — нижнее;

$\cdots$ — `\cdots` — центрированное;

$\vdots$ — `\vdots` — вертикальное;

$\ddots$ — `\ddots` — диагональное.

Первая команда работает в любой моде, остальные — только в математической. Обычное \dots внутри математической моды эквивалентно \cdots.

Основной набор выполняется текущим размером шрифта. Непосредственно в формулах разрешается использовать только латинские и греческие буквы. Обозначениям векторов, традиционно 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. Приведем примеры записи одной и той же формулы в вариантах displaystyle/textstyle:

$$\displaystyle\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k^2}=\frac{\pi^2}{6} \qquad \textstyle\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k^2}=\frac{\pi^2}{6}$$

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. В качестве примера приведем еще одну из формул Рамануджана:

$$1-\cfrac{qx}{1+\cfrac{q^2}{1-\cfrac{q^3x}{1+\cfrac{q^4}{1-\cfrac{q^5x}{1+\dots}}}}} \qquad =\cfrac{q}{x+\cfrac{q^4}{x+\cfrac{q^8}{x+\cfrac{q^{12}}{x+\dots}}}}$$

Этот набор был задан командами

```
\begin{minipage}{60mm}
\vspace{8mm}
$$
\begin{array}{l}
1-\frac{\displaystyle qx}
{\displaystyle 1+\frac{q^2}
{\displaystyle 1-\frac{q^3x}
{\displaystyle 1+\frac{q^4}
{\displaystyle 1-\frac{q^5x}
{\displaystyle 1+\dots}}}}}
\end{array}
$$
\end{minipage}
\begin{minipage}{50mm}
$$
\begin{array}{l}
=\frac{\displaystyle q}
{\displaystyle x+\frac{q^4}
{\displaystyle x+\frac{q^8}
{\displaystyle x+\frac{q^{12}
{\displaystyle x+\dots }}}}}
\end{array}
$$
\end{minipage}
```

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

$$f_j = \int\limits_0^\infty \frac{(\lambda t)^j}{j\,!} e^{-\lambda t}\, dF(t), \qquad j = 0, 1, \dots$$

$$b_j = \int\limits_0^\infty \frac{(\lambda t)^j}{j\,!} e^{-\lambda t}\, dB(t), \qquad j = 0, 1, \ldots$$

$$a_j = \int\limits_0^\infty \frac{(\mu t)^j}{j\,!} e^{-\mu t}\, dA(t), \qquad j = 0, 1, \ldots$$

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

В данном разделе обсуждаются два типа окружений, используемых для набора таблиц. Окружение `tabbing`:

- применимо в текстовой моде;
- формирует отдельный абзац;
- может быть перенесено на следующую страницу;
- требует задания ширины граф — явно или по образцу.

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. Это окружение:

- применимо в любой моде;
- переноса на другую страницу не допускает;
- как правило, автоматически выбирает ширину граф.

6.5.1. Простейшие таблицы

Неграфленые таблицы (на типографском языке — «выводы») оформляются окружением tabbing:

```
\begin{tabbing}
   <образец_1> \= <образец_2> \= <образец _3> \kill
   <текст_11>  \> <текст_12>  \> <текст_13>   \\
   ..........................................
   <текст_n1>  \> <текст_n2>  \> <текст_n3>   \\
\end{tabbing}
```

Первая строка состоит из *образцов*, устанавливающих посредством \= позиции табуляции. В качестве образцов выбираются наиболее длинные элементы соответствующих столбцов, при необходимости дополняемые пробелами. Образцы можно заменить прямым указанием ширины колонки вида \hspace{3cm}. Перед каждой командой установки табулятора должен стоять хотя бы один пробел. «Убийственная» команда \kill исключает *печать* образцов.

В последующих — рабочих — строках применяются разделители \>. Каждая клетка получаемой таблицы (как и при других способах их формирования) образует *группу* — следовательно, локализует действие команды смены шрифта, если таковая потребуется.

Элементы таблицы получаются левоустановленными. Для прижатия всего последующего текста данной строки к правым позициям табуляции нужно дать в ней команду \‘.

6.5.2. Графленые таблицы

Входящие в книгу таблицы и рисунки по умолчанию 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. 6.2).

Таблица 6.2. 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]. Первая 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 обратными слэшами \\.

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.

[2]Буква c должна быть набрана обязательно на латинском регистре.

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. 6.2.

```
\begin{center}
\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}
\end{center}
```

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, для создания которых на ПЭВМ имеется богатый выбор графических редакторов. Достаточно удобны в работе только те из них, которые интегрированы с основным текстовым процессором. Для единственного реального конкурента LaTeX'а — *Word*'а — это формирующие растровые изображения редакторы *Paint* и *Paintbrush*. При оформлении научных публикаций «живописные» свойства названных редакторов (цветовые возможности, имитация аэрографа или раскрошившегося карандаша) теряют практическую ценность, их технологические возможности явно недостаточны, получаемые файлы очень громоздки.

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 способы включения 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 гра-

фических 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).

Графический файл формата PCX как объект ввода представляется командой

`\special{em:graph <имя_файла>}`.

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.

6.6.4. Выделение места

Вклейка сложных рисунков — самая простая и эффективная технология их включения в рукопись, не предназначенную для издания. Для выделения чистой страницы с подрисуночной подписью следует применить команды вида

```
\begin{center}
\unitlength=1mm
\begin{picture}(135,188)
\end{picture}
\figcaption{<подпись>}
\end{center}
```

Для резервирования *части страницы по высоте* соответственно корректируется второй параметр.

6.7. Обзор LaTeX 2_ε

6.7.1. Общая структура

За многие годы существования LaTeX 2.09 было разработано множество дополнений и расширений, которые привели к несовместимости вариантов: «стандартного»; с новой схемой выбора шрифтов (NFSS); SLiTeX; $\mathcal{AMS}$-LaTeX и др.

LaTeX 2_ε объединяет все признанные расширения в один формат. Для него NFSS принята как стандартная, а ранее самостоятельные версии SLiTeX, $\mathcal{AMS}$-LaTeX являются просто расширяющими пакетами, работающими с единым базовым форматом. Однако новая версия не вытеснила старую даже на Западе и тем более в России. Она трудно обозрима, сложнее в использовании, требует бóльших компьютерных ресурсов, а предоставляемые ею новые возможности существенны лишь для «ограниченного контингента» лиц, публикующих собственные книги. Поэтому мы ограничимся краткой сводкой, отсылая читателей за подробностями к литературе [56, 57, 92, 110].

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 документы, подготовленные для версии 2.09, распознавая их по \documentstyle и \documentclass.

6.7.2. Стандартные классы

К ним относятся:

- article — статья;
- book — книга;
- report — отчет;
- letter — письмо;
- 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 обеспечивает нумерацию страниц римскими цифрами. Вторая восстанавливает стандартные режимы нумерации. Наконец, третья вновь отменяет нумерацию глав (реально — 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 `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 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:

```
\documentclass[russian]{book}
\usepackage[rusian]{babel}
\usepackage[cp1251]{inputenc}
```

6.7.5. Схема выбора шрифтов

В LaTeX 2ε используется NFSS — новая («ортогональная») схема выбора шрифтов, допускающая *раздельное* задание их начертания (shape), насыщенности (series) и семейства (family) — см. табл. 6.3. Каждый из атрибутов, а также размер шрифта, здесь 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 6.3. 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

Система поддерживает и старые способы изменения шрифтов, но в этом случае с ортогональностью свойств приходится проститься.

Упомянутая ортогональность, к сожалению, не распространяется на *печать заголовков*, для которых в стилевых файлах задан полужирный шрифт `Roman` разного размера. Для согласования их с набором текста (например, при печати всей книги шрифтом `Sans Serif`) необходимо переопределение соответствующих команд из стандартного стиля `book` и корректирующего «русского стиля».

6.7.6. Частные улучшения

Усовершенствована команда `\sloppy`, разрешающая верстку абзаца с разреженными строками. Облегчены условия вывода «плавающих» рисунков и таблиц.

Необходимая ранее коррекция пробелов на курсив, задававшаяся командой `\/` после окончания курсивного текста, теперь выполняется автоматически.

Появилась возможность использовать в математической моде ажурный и готический шрифты.

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;
- превьюер YAP, обеспечивающий вставку рисунков в различных графических форматах и вывод результата компиляции на обычную печать, а также его преобразование в форматы PS (PostScript) и PDF. Последнее существенно для придания продукту компиляции большей мобильности (формат PDF читается популярной системой *Acrobat*).

Задав соответствующий режим компилятора, можно вставить в текст особые пометки (src-specials), которые, перейдя в DVI-файл, позволяют связать выбранное место DVI-файла с породившими его 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.

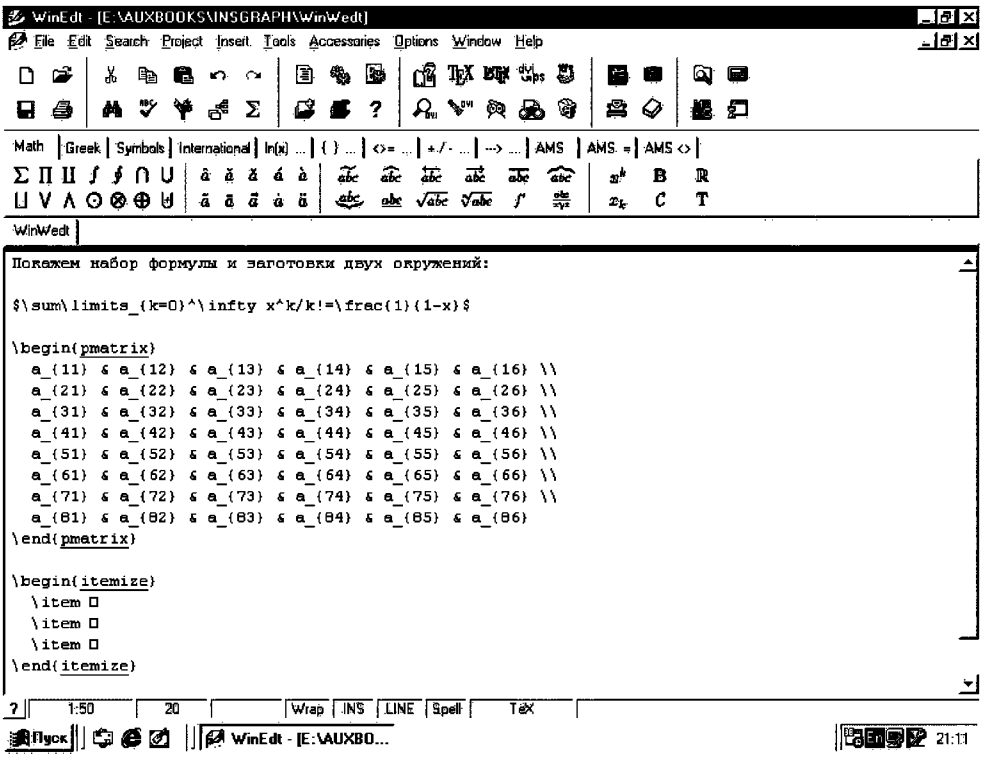

Рис. 6.1. Главное окно редактора WinEdt

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).

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 просмотре документов YAP генерирует все необходимые для отображения DVI-файлов шрифты, что замедляет его работу. В дальнейшем такая надобность будет возникать лишь эпизодически и с убывающей частотой.

Из инструментов YAP мы обсудим «увеличительное стекло», для краткости ниже именуемое «линзой». По нажатию кнопки мыши линза обеспечивает просмотр малой части страницы для точной оценки правильности и качества набора. При нажатой [Shift] размер линзы увеличивается до среднего, при нажатой [Ctrl] — до большого. В диалоге Options/Magnifying Glass Property для каждого из названных режимов можно определить ширину и высоту открываемого окна (в пикселах) и степень увеличения (в долях от максимума). Линза YAP не позволяет увеличивать фрагменты вставляемых «внешних» рисунков.

В отличие от DOS-превьюера, YAP *не имеет линейки*, которая весьма полезна для отслеживания читаемого текста и измерения в нем избыточных либо недостающих интервалов. Отсутствуют также средства поиска нужного текста в DVI-файле.

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 шрифтов `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.

6.8.5. Набор математики

Пункт `Insert` главного меню содержит шаблоны составных LaTeXнических конструкций. Здесь предлагаются:

`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 окружений `figure`, `table`, `align`, `align*`, `matrix`, `equation`, `tabular`, `tabbing`, `enumerate`.

Вставки подобных заготовок следует выполнять в режиме `Line`. В блочном режиме место резервируется *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. [57]. При этом как дополнительный параметр пакета (т. е. в квадратных скобках) следует указывать применяемый драйвер (`dviwin`, `dvips`).

6.8.7. Подготовка слайдов

Новой возможностью LaTeX 2ε является подготовка с помощью специального класса комплекта слайдов («прозрачек») для выступлений на конференциях. Внутри вводимого файла каждый слайд ограничивается операторными скобками

```
\begin{slide}

\end{slide}
```

Текст слайда воспроизводится укрупненным шрифтом без засечек посредством обычных команд LaTeX'а. Другие команды секционирования здесь не имеют смысла. Все заголовки, их размер, насыщенность и позиционирование задает программист.

6.8.8. Компиляция и отладка документа

Компилятор запускается щелчком по иконке LaTeX. Предварительно нужно сделать сборочный файл главным. 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].

После исправления хочется *сразу* найти его результат в DVI-файле (*прямой поиск*). После отработки компилятора последний откроется на соответствующей странице, причем место правки будет отмечено кружком. При отладке громоздких формул есть возможность запустить на компиляцию *выделенный текст*.

6.8.9. Перевод в PDF и получение «зеркала»

MiKTeX позволяет легко преобразовать DVI-файл в формат PDF и получить необходимое для типографского издания *книги* зеркальное представление рукописи. Для последнего все рисунки должны быть подготовлены в форматах BMP, PIC или PCX. Опишем этапы технологии:

1. Включить в преамбулу сборочного файла команды

   ```
   \usepackage[dvips]{graphicx}
   \usepackage[mirror]{crop}
   ```

   (последнюю — только при необходимости в «зеркале»).

2. Получить «прямой» DVI-файл.

3. Выполнить щелчком по соответствующей кнопке в панели инструментов преобразование DVI $\rightarrow$ PS.

4. Аналогично выполнить PS → PDF.

Конечный продукт можно просматривать и печатать в популярной системе *Acrobat*.

В процессе этих преобразований существенно меняются яркость и контраст тоновых рисунков. Соответственно приходится корректировать их исходные варианты.

6.9. Gnuplot

6.9.1. Быстрое введение

Gnuplot позволяет визуализировать математические функции и записанные в файлах данные на двумерных и трехмерных графиках. Официальные издания *Gnuplot 3.7.3* от 12 декабря 2002 г. и старше предназначены для работы под *Windows*, но имеются и *DOS*-версии.

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 имеется множество различных «стилей» — линии, символы, их комбинация, диапазоны ошибок, «импульсы» и т. д. Графики автоматически снабжаются легендой, могут быть размечены произвольными стрелками и надписями. Допускаются логарифмические оси, управление засечками на осях и их оцифровкой, несколько сопряженных графиков на одном листе.

Система позволяет автоматически подбирать параметры формульных зависимостей, наилучшим образом приближающие экспериментальные данные. Имеется возможность работать с «календарными» переменными, определяющими *даты* (допустимы только английские названия месяцев и дней недели). В процессе работы *Gnuplot* выводит на экран диагностику ошибок. На место ошибки снизу указывает символ ^.

Выходом системы является графический PIC-файл с чрезвычайно компактным описанием рисунка в терминах TEXнических команд, который может быть непосредственно включен в LATEXнический набор рукописи командой `\input` изнутри окружения `picture`.

В связи с ограничениями на объем данной книги мы вынуждены ограничиться лишь беглым обзором системы, отсылая читателя к опи-

санию 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.

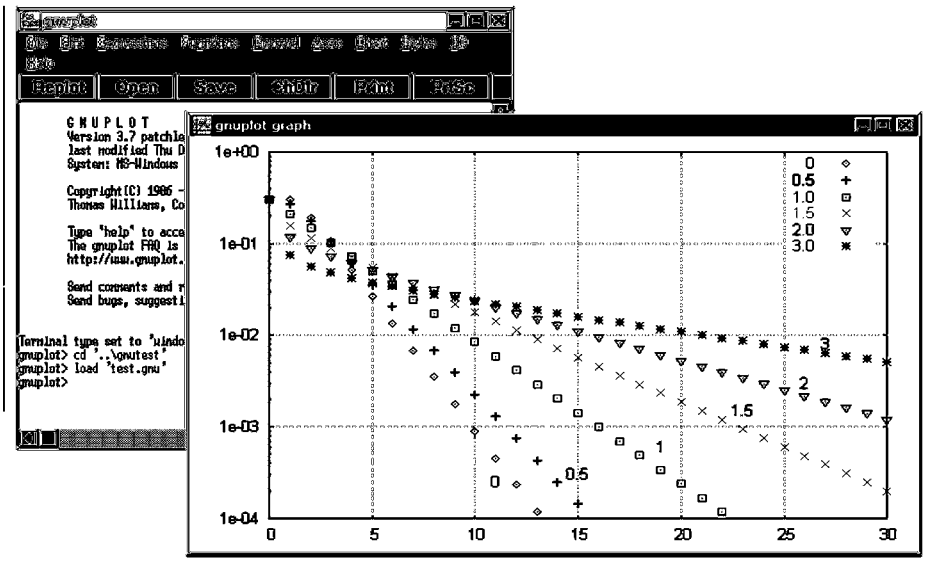

Рис. 6.2. Первое знакомство с $Gnuplot$

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. Если загружаемых файлов нет, система переходит 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* применяются английские наименования его ключевых понятий. Начинающий *GNU*тик для получения общей информации об основной команде системы мог бы набрать `help plot`.

Gnuplot — интерактивная программа. Однако удобнее записать то, что нам требуется от *Gnuplot*, в файл `input.gnu`, например,

```
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.

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.

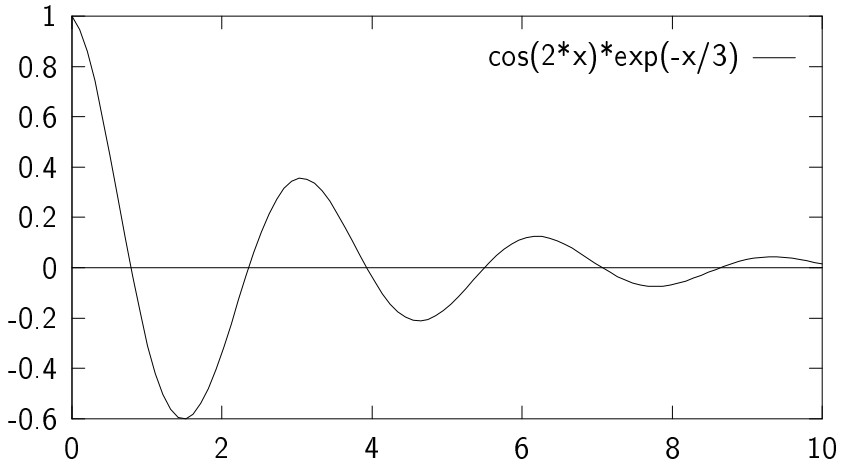

Рис. 6.3. Затухающая косинусоида

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 [165] даны извлечения из него, переупорядоченные и дополненные почерпнутыми из опыта наблюдениями и рекомендациями. Здесь мы попытаемся дать читателю представление о возможностях системы.

6.9.2. 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'`

6.9.3. 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. Поддерживается функция `sgn` — как в *Бейсике*. Можно пользоваться функциями `ceil` и `floor` округления в бóльшую и мéньшую стороны. Доступны функции Бесселя, гамма-функция, гиперболические синус и тангенс, десятичный логарифм `log10`; натуральный логарифм обозначается `log`. Тригонометрические функции работают с углами в радианной мере.

Expressions. При записи выражений допускается широкий набор операций (в том числе вычисление факториала) и функций. Факториал возвращает результат с плавающей точкой. Пробелы внутри выражений игнорируются. Константа `pi` определена на системном уровне.

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 — в частности, в последующих сеансах. Команда `save` без параметров запоминает все перечисленные объекты и последнюю команду `plot (splot)`.

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`. Пример:

```
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`. Этот переход упрощает работу программиста, перекладывая ее на систему. На трудоемкости и объеме картинного файла он практически не сказывается. Возврат к декартовым координатам происходит по команде `set nopolar`.

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)
```

6.9.4. Линии и символы

Стиль функций. Графики отображаются шестью стилями: `lines`, `points`, `linespoints`, `impulses`, `dots`, `errorbars` (соответственно

линии, символы, линии и символы, вертикальные линии от оси абсцисс, 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. Печать стилем `impulses` имеет смысл только для графика с единственной функцией. Импульсы направлены от оси абсцисс.

Вид отображения задается в команде `plot` параметрами:

```
with <стиль> {<тип_линии> {<тип_символа>}}
```

где `<тип_линии>` и `<тип_символа>` — положительные целые константы или выражения, указывающие номера типов для очередного графика. По умолчанию для кривых на одном графике выбираются последовательные (в порядке задания кривых) номера типов линий и символов. Содержимое файлов по умолчанию распечатывается символами. Команды `set function style`, `set data style` устанавливают стиль, выбираемый по умолчанию.

При выводе *на дисплей* нескольких кривых типы линий различаются только цветом (13 вариантов). В команде `plot` при стиле `lines` произвольно задать цвета нельзя. Вывод на дисплей в стиле `linespoints` позволяет произвольно выбирать типы (цвета) линий и вид символов. Цвет символа как правило совпадает с цветом линии.

При выводе на *печать* линии (6 типов) различаются только густотой точек: тонкая, два типа жирных и пунктирные разной разреженности. В стиле `points` все кривые печатаются одним и тем же символом. Ниже приводятся возможные варианты символов:

1	2	3	4	5	6
$\diamond$	$+$	$\square$	$\times$	$\triangle$	$\star$

Возможность выбора линии и символа *для принтера* появляется только в комбинированном стиле `linespoints`. 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 содержимого файла 'lsq.dat' импульсами:

```
plot 'lsq.dat' with impulses
```

4. 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
```

5. Печать $x**2+y**2$ и $x**2-y**2$ линиями одного типа:

```
splot x**2+y**2 with line 1, x**2-y**2 with line 1
```

6. 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
```

7. Печать файла 'data' символами типа 3:

```
plot 'data' with points 3
```

6.9.5. Файлы данных

Представление 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)`. Пустые строки в файлах данных вызовут разрывы в графиках.

При работе с файлами могут быть учтены *допуски* (возможные погрешности) значений функции, что эквивалентно обсуждаемым в *Word*'е «биржевым» графикам изменения котировки ценных бумаг с указанием минимума и максимума. TEXнически допуск (`errorbar`) — это вертикальный отрезок между точками `(x,ymin)` и `(x,ymax)`, определяемый `ydelta` либо `ymin` и `ymax` соответственно. *Gnuplot* ожидает видеть три или четыре числа в каждой строке файла данных и соответственно интерпретирует их как `(x,y,ydelta)` или `(x,y,ymin,ymax)`. Если задана погрешность `ydelta`, то считается `ymin=y-ydelta` и `ymax=y+ydelta`.

Координата x при работе с допусками должна быть задана обязательно. Числа в каждой строке данных должны быть разделены пробелами на колонки.

В общем случае при работе с допусками нужно вызывать plot *дважды*: для нанесения допусков и для построения линий, соединяющих точки графика.

6.9.6. Трехмерные графики

Mapping. Данные для splot необходимы обязательно в декартовых координатах, поскольку только на их основе можно реализовать важную функцию hidden3d удаления невидимых линий. Однако координаты могли быть заданы в иных системах (радиус и два угла в сферической; радиус, угол и высота — в цилиндрической). Отсюда возникает необходимость команды преобразования

```
set mapping{cartesian|spherical|cylindrical}.
```

View. Команда позволяет менять «точку зрения» при использовании splot, но поддерживает только ортографические проекции. Синтаксис команды:

```
set view <rot_x> {,{,<rot_z>}{,{<scale>}{,<scale_z>}}}
```

Ось x горизонтальна, ось y вертикальна, ось z перпендикулярна плоскости экрана. По умолчанию $rot_x = 60°$, $rot_z = 30°$. Параметр <scale> масштабирует весь график, <scale_z> — только ось z.

Поверхность. Команда set surface включает (с префиксом no отменяет) изображение изолиний и контуров. Команда set hidden3d удаляет невидимые части поверхности и контуров. На метки и стрелки команда не влияет.

Ниже приводится пример файла для получения трехмерного объекта:

```
set terminal emtex
set output 'hidden.pic'
set size 0.80,1.30
set hidden3d
set nokey
set xrange[-3:3]
set yrange[-2:2]
splot 1/(x*x+y*y+1)
```

и команды его вставки:

```
\begin{center}
\unitlength=1mm
\begin{picture}(127.00,66.20)
\input {hidden.pic}
\end{picture}
\vspace{-15mm}
\figcaption{Образец трехмерной графики \label{hidden}}
\end{center}
```

6.9.7. Оформление

Размер графика. 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>}
```

Коррекция *пропорций* может быть необходима, например, при изображении окружностей — для компенсации эффекта приведения к стандартному формату и различия в вертикальном и горизонтальном шагах матричного принтера.

Смещение кривой. Эстетические или иные соображения могут потребовать увеличения либо сокращения поля графика. Такие действия задаются командой

```
set offsets <left>,<right>,<top>,<bottom>
```

Каждое значение может быть константой или выражением и измеряется *в единицах соответствующей оси*. Смещения не влияют на положение, размеры и пропорции графика в целом. Отрицательные приращения приводят к сокращению соответствующих диапазонов.

Окантовка графика, выполняемая по умолчанию, может быть отменена заданием режима `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). Оцифровка делается только на границах по-

рядков в формате «g» (при модуле порядка менее 5 — с фиксированной точкой, иначе с плавающей). При необходимости ее формат можно изменить непосредственно в сгенерированном файле. Границы рисунка всегда соответствуют целым значениям порядка.

Менять количество засечек на логарифмической шкале нельзя. Однако применяемый по умолчанию формат оцифровки можно заменить на чисто экспоненциальный командой типа `set format y '%.0e'`.

Засечки по умолчанию делаются *внутрь* со всех четырех сторон. Команду `set tics out` можно применить для изменения направления засечек. 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.

Никаких собственных средств управления размером и начертанием букв *Gnuplot* не имеет. При необходимости можно внести соответствующие изменения на языке LaTeX'а в сформированный *Gnuplot* «картинный» файл. 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`. Для кривых, которые строятся по данным из файлов, в качестве ключей по умолчанию выбираются имена этих файлов. Ключ можно задать произвольно в параметре `title` команды `plot`.

Полная форма команды `set key <x>,<y>{,<z>}` задает координаты ключа первой кривой в системе графика. Эти координаты указывают положение пробела между названием кривой и образцом. Ключи последующих кривых располагаются ниже и выравниваются по упомянутому пробелу. Команда `set nokey` убирает ключи.

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
```

Заголовок. Посредством команды типа

`set title {<текст_заголовка>}{<dx>}{,<dy}`

можно поместить центрированный указанный текст вверху графика. Разбивка текста на строки задается символами \\. Заданием смещения *в знакоместах* заголовок можно перенести в любое место графика (в частности, использовать как подпись).

6.9.8. Тип терминала

Команда `set terminal {<тип терминала>}` устанавливает тип графической программы или терминала (точнее, драйвера) из числа поддерживаемых системой. Стандартным типом терминала является `windows`. При этом рисунок немедленно отображается на экране в цвете

и в достаточно крупном масштабе, что позволяет легко установить необходимость коррекции расположения подписей, стрелок, легенды и т. п. Для всех прочих «терминалов» потребуется обрамляющий файл, выполняющий вставку рисунка в TEXническую рукопись, и его перекомпиляция после каждой коррекции.

Отлаженный график нужно перекомпилировать с другим «терминалом» для получения описания графика в файле. Рекомендуется начать с наиболее типичных вариантов: `emtex`, `latex`, `eepic`. Работа с макроопределениями `epic` и `eepic` позволяет формировать более компактные описания графиков и делать это с меньшими затратами процессорного времени. В контрольном примере построения графика функции $y = \sin x^2$ на отрезке $[-\pi : \pi]$ этот объем составил для `latex` — 55 060 байтов, для `emtex` — 8951, для `eepic` — 4214 (тестирование выполнялось на версии *Gnuplot 3.2*). Поскольку в варианте `eepic` ни качество, ни успех операции из-за ограниченных возможностей эмуляции не гарантируются, оптимальным представляется выбор `emtex`.

Некоторые терминалы не позволяют реализовать все возможности *Gnuplot* (имеют ограниченный набор линий и символов для представления разных серий данных, не могут вращать текст для получения надписи вдоль оси y). Может потребоваться подключение дополнительных стилевых файлов: например, для терминала `eepic` — `epic` и `eepic` (`eepicemu`). Для работы с терминалом `postscript` необходима система *GhostScript*.

«Способности» выбранного терминала (возможность поворота текстовой строки, пронумерованные для ссылок образцы линий и символов) демонстрируются по команде `test`.

6.10. Visio — инструмент для схем

6.10.1. 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 схе-

му). 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 [102].

Разумеется, вычерчивание схем возможно средствами любого графического редактора или универсального текстового процессора класса *Microsoft Word*. Однако в указанных целях гораздо удобнее воспользоваться системой *Visio 2000*. В ее составе имеются свыше 50 трафаретов (`stencils`), ориентированных на весьма разнообразные применения[3]. Различия между новейшими версиями *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 детализации — от карты мира с размещением региональных центров через план этажа здания до стойки с размещением блоков аппаратурного комплекса и 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

[3]Значительно больший набор трафаретов входит в состав *Visio 5* — профессиональной и технической версий.

потоков данных; диаграмм состояний, взаимодействия и переходов; моделей структуры (составных частей системы и их взаимодействия) при наступлении *событий*. Обсуждение соотношения этих подходов, смысла отдельных обозначений и их сочетаний в данной книге было бы неуместным; поэтому мы перечислим только авторов поддерживаемых *Visio* систем обозначений: Booch, Nassi-Shneiderman, Chen, Gane-Sarson, Jackson, Jacobson, Martin, Rumbaugh, Shlaer-Mellor, Yourdon. В электронной документации указана соответствующая литература, значительная часть которой переведена на русский язык.

Отметим наличие средств организации гипертекстовых связей между несколькими документами, 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 автора позволит ему 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*. Для построения графиков функций и поверхностей, заданных аналитическими выражениями или таблицами, все *математические* пакеты имеют встроенные специальные средства, а при работе в LaTeX'е можно использовать систему *Gnuplot*. 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 с ее помощью *крупномасштабных плакатов*, склеиваемых из выводимых на принтер листов стандартного формата.

Приведем необходимые для работы с системой базовые определения:

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 необходимого трафарета или стандарта.

6.10.2. 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

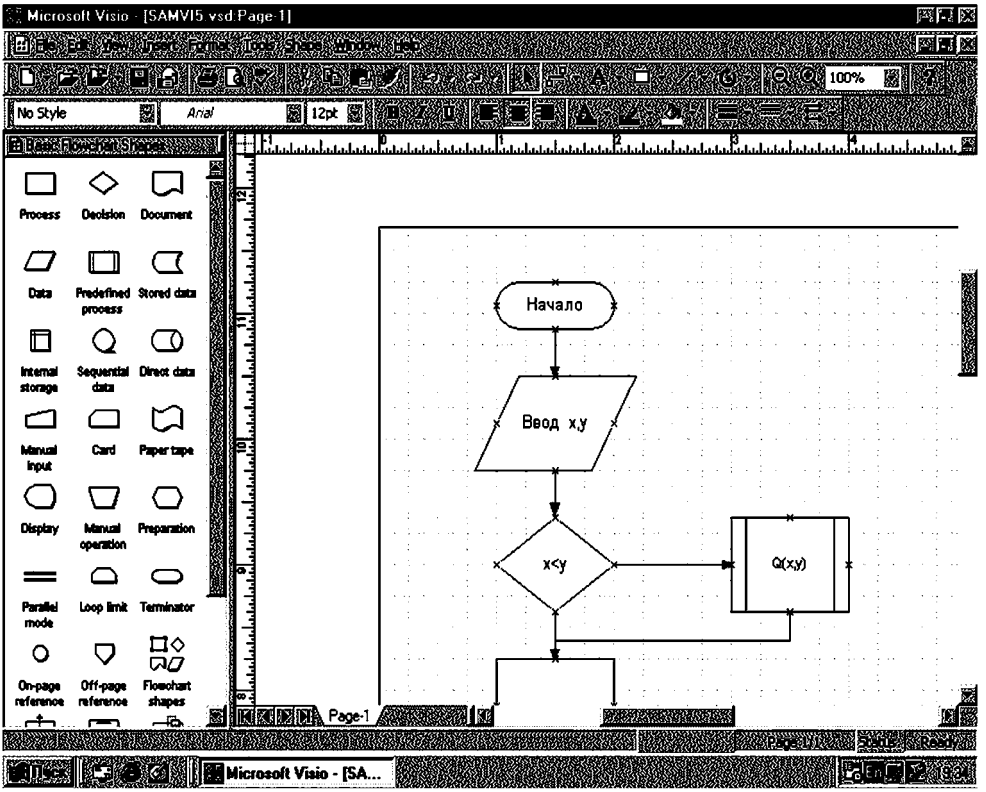

Рис. 6.4. Окно системы *Visio 2000*

фигуры; щелчок по заголовку трафарета открывает возможности сворачивания, редактирования и закрытия трафарета. В последнем случае можно выбрать новый трафарет.

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 их 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. Пункт Property Report позволяет записывать данные типа цены единичного изделия в рабочий лист и в дальнейшем, заполнив окна нескольких панелей, сгенерировать отчет (счет) на основании комплектации.

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. Последние обсуждаются ниже.

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.

6.10.3. 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 в обычном режиме 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.

6.10.4. 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. Трафарет Blocks содержит обширный набор стрелок: двойных, изогнутых, посередине линий, а также концентрические окружности и секторы с возможностью изменения наружного и внутреннего радиусов, а для сектора и кольцевого сегмента — и центрального угла.

Database Diagram — комплекты прямоугольных и овальных 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 (все стандартизованные обозначения, внутри- и межстраничные соединители), разветвление и соединение потоков, базы данных.

Forms and Charts. Трафарет Charting Shapes содержит заготовки столбчатых и секторных диаграмм; после выбора варианта в окнах

вспомогательной панели можно задать число элементов, цвет и значение каждого, что соответственно изменит изображение. Здесь же имеются экспоненциальная и нормальная кривые с возможностями их деформации (качественной). В трафарете `Form Shapes` предлагаются заготовки блоков информации, поле вставки текущей даты, фрагменты сетки с регулируемым числом делений, логарифмическая сетка, бланки факса и бизнес-карты. Заслуживает внимания специфический `Marketing ClipArt`: нефтяная вышка, нефтяная же бочка («баррель»), дойная корова, фабрика, корабль, финансовое учреждение, мешок с деньгами, знаки популярных денежных единиц и пластиковых карт. 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, причем Россия уже разделена на европейскую и азиатскую части), важнейшие реки и озера, средства изображения дорог (основное полотно, перекрестки, развязки, мосты). В трафарете `Landmark` представлены: «достопримечательность», берег океана, река, озеро, парк, бензозаправка, госпиталь, железнодорожная станция, аэропорт, дом, 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.

Office Layout предлагает изображения в плане комнаты и ее частей, дверей, окон, офисной мебели и горшков с растениями.

Organization Chart дает средства изображения диаграмм занятости, человеческих ресурсов, структуры управления персоналом (менеджер, консультант, ассистент, штат, команда).

Project Shedule предоставляет инструменты для изображения календарей (месячного и годового, фаз луны), графиков Ганта (одна из форм сетевого планирования), 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 («греческий», «египетский», звезды, шахматная клетка, волны, зигзаг) и фона рисунка; соединители; набор картинок *ClipArt* («human relations», такси, автобус, самолет, багаж, «правительство», цель, увеличительное стекло, 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.

6.10.5. 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. При необходимости тиражирования нужно щелкнуть по мастер-фигуре не указателем, а «штампом» — тогда на месте каждого щелчка в поле рисунка появится копия[4]. В дальнейшем выделенные копии могут быть деформированы (перемещением управляющих элементов), повернуты, подвергнуты зеркальному отражению, снабжены дополнительными элементами и надписями. Фигуры разного

[4] Штамповать можно только фигуры непосредственно из трафарета.

вида, вообще говоря, ведут себя по-разному. Некоторые из них защищены от изменения пропорций и вращения (при их активации появляется изображение замка).

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 представляться 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].

Некоторым неудобством является отсутствие в системе «резинки», что отчасти компенсируется возможностью сдвига граничных точек линии в процессе редактирования и возможностью наложения прямоугольников с *белым* заполнением.

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`. Полезно при входе в *Windows* по цепочке `Программы/ Стандартные` просмотреть «Таблицу символов» для всех установленных на вашей машине шрифтов. В процессе просмотра выпишите кодовые комбинации для набора интересующих вас специальных символов и названия содержащих их дополнительных шрифтов. Предпочтительно пользоваться шрифтами серии `TT` — `TrueType`, которые лучше переносят масштабирование. 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 печати специальных символов из экзотических шрифтов следует, установив этот шрифт, набрать ключевую комбинацию клавиш (цифровых — только на правой клавиатуре!). 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`. Следует иметь в виду возможность укрупнения символов до размеров картинок выбором кегля шрифта (кстати о картинках: через меню `Insert` возможны вставки из *ClipArt*, *Microsoft Equation*, *AutoCAD*, *Microsoft Graph*, а через подпункт `Object` — и многие другие варианты).

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.

Перед набором, коррекцией, перемещением, удалением текста нужно открыть текстовый блок и выделить обрабатываемую часть. Несколько букв выделяются протаскиванием, слово — двойным щелчком, целый абзац — тройным. Если выделение не производилось, изменения будут отнесены ко всему блоку.

Выделенный текст модифицируется кнопками «Прямой», «Курсив», «Подчеркнутый», «Полужирный», а 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 сравнительно редкую возможность расположить надпись по вертикали.

Для нумерации элементов структурных схем алгоритмов в соответствии со стандартом (в разрыве верхней линии) приходится накладывать на фигуры текстовые блоки с непрозрачной подложкой.

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. Работа в этом редакторе описана в руководствах по *Microsoft Word*.

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.

6.10.6. 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) или посредством «штампа».

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.

С другой стороны, с помощью Fragment можно, предварительно проведя разграничительные линии и выделив эти линии и фигуру, разделить последнюю на части и в дальнейшем отдельно распорядиться каждой из них. Можно, например, выполнить закраску или штриховку отдельных частей.

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. Имеется возможность добавления элементов к группе и их удаления. Сложные изображения, которые предполагается использовать в составе трафаретов, предварительно должны быть сгруппированы.

6.10.7. 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. На соединителе имеется текстовый блок, который вызывается по [F2] и может быть использован, например, для записи условий передачи управления. 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. Для изображения стрелки на *середине* линии есть три пути: наложить отдельно заготовленную; *нарисовать* стрелку, предварительно укрупнив масштаб; выбрать искомое из трафарета `Block Diagram/Blocks`.

Выравнивание фигур. Кнопка `Align Shapes` позволяет выровнять выделенные фигуры по вертикали и 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. Сводный отчет можно сформировать по `Tools/Property Report`. Мастера (`Wizards`) и другие вспомогательные инструменты автоматизируют рутинную работу или выполняют специальные функции. Многие из них включают в себя собственный `Help` или кнопку `More Info`.

Размер рисунка может быть изменен «протаскиванием» границы с нажатой клавишей [Ctrl]. Некоторые проблемы возникают при *уменьшении* рисунка. В этом случае 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. В любом случае будет нарушена гармония шрифтов и графики. При планируемом уменьшении требуется делать 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}
```

6.10.8. Создание трафаретов и стандартов

По умолчанию трафареты открываются в режиме «только чтение», на что указывают фигурные скобки, окаймляющие название трафарета.

«Штатные» трафареты бывают двух видов. *Удаленные* имеют расширение VSS и хранятся отдельно или вместе со стандартами. *Локальные* (VSD) хранятся вместе с готовыми схемами и содержат все использованные в них стандартные фигуры.

Если вы часто используете некоторые нестандартные фигуры или комбинацию стандартных, заимствованных из различных трафаретов, целесообразно создать авторский трафарет. Для добавления могут быть использованы *объекты* из других *Windows*-приложений, например, картинки из ClipArt Gallery или увеличенные символы некоторых шрифтов. Новую мастер-фигуру можно именовать (подпись иконки), выбрать размер для иконки, записать выдаваемую по нажатию [RM] связанную с ней дополнительную информацию.

Для «производства фигуры в мастера» необходимо:

1. В рабочем окне нарисовать или вызвать из другого источника исходную фигуру. Выполнить группировку ее составных частей.

2. Открыть файл-stencil для записи мастера (это должен быть Blank Stencil или *копия* базового трафарета).

3. Щелкнуть по оригиналу [LM] и втащить его в трафарет (при нажатой [Ctrl] будет выполнено копирование). Появится новая иконка с подписью «Master.X», где X — порядковый номер фигуры в трафарете.

4. Щелчком [RM] вызвать меню редактирования (окно для коррекции фигуры из трафарета открывается также двойным щелчком [LM]). Отредактировать заготовку иконки, подпись и пояснения к ней.

При «гибридизации» трафаретов перетаскивание из одного трафарета в другой выполняется через рабочее окно.

Изменение относительного расположения иконок внутри трафарета выполняется перетаскиванием. По команде View/Arrange Icons можно выполнить их выравнивание.

«Авторские» трафареты в список трафаретов не включаются. Для работы с таким трафаретом следует открыть новый файл, указав режим No Stencil, а затем вызвать файл VSS с авторским трафаретом. Дальнейший режим не отличается от работы со штатными трафаретами.

6.10.9. Страницы и подложки

Visio-схема может состоять из лицевой страницы и подложки (соответственно foreground/background pages). Подложка может содержать некоторое стандартное обрамление (рамку, угловой штамп, логотип организации или конкретного проекта, карту местности, план помещения и т. п.). Каждой лицевой странице непосредственно сопоставляется только одна подложка. На одну подложку могут опираться несколько лицевых страниц. Подложка сама может иметь подложку. При подготовке лицевой страницы высвечивается результат «прозрачного» наложения всех слоев. Он же выводится при печати. Печать подложки может быть отключена.

Дополнительные страницы создаются командой New Page. Сразу же назначается их тип и для лицевых страниц указывается подложка; поэтому новую работу следует начинать с подложки. Лицевая страница может быть преобразована в подложку через меню Page (команды Page Setup или New Page). Подложка не может быть удалена, пока существуют налагаемые на нее лицевые страницы. Все совместно используемые страницы должны принадлежать к одному файлу.

Единицы измерения для линеек и сетки также назначаются через диалоговый бокс в Page Setup. Визуальная частота сетки при изменении масштаба поддерживается приблизительно постоянной. Сетка на печать не выводится.

Размер схемы в целом может быть изменен посредством опции Size/Scale того же меню, если выбрать Size отличным от Same as Print Setup. Переформатирование лицевой страницы не затрагивает надписи и подложку.

6.10.10. Распечатка схем

Распечатка схемы организуется выбором команды File/Print после диалога по пунктам традиционного содержания. Все цветные тона для черно-белого принтера преобразуются в серые. Шкала полутонов может регулироваться через Print/Properties.

В меню Page Setup можно установить поля — *Visio* автоматически уменьшит рисунок до необходимых размеров. Поля задаются применительно к стандартной (Portrait) ориентации схемы.

Большой рисунок можно распечатать на нескольких листах заданного формата и ориентации. Это делает *Visio* незаменимым инструментом изготовления плакатов. Текст и графику плаката можно создать как в *Visio*, так и в других совместимых с *Windows* редакторах, перенести в *Visio* через буфер и отмасштабировать. Далее в меню File/Page Setup после выбора способа описания размера (Metric: A0,A1,..., Custom, Same as Printer и т. д.) в поле Page Size устанавливается требуемый размер с учетом размеров страниц, которые поддерживает принтер, и допусков на склейку. Для увеличения перекрытия следует выбрать File/Page Setup/Print Setup и в диалоговом боксе увеличить установки для полей. Общая площадь распечатки для исключения избыточных полей должна быть приблизительно подобна площади схемы.

Параметры печати настраиваются через меню File/Page Setup. При печати плакатов в Print Setup обычно задается «ландшафтная» ориентация. Затем с помощью полей

Fit on ...pages across by...pages down

нужно выбрать количество полос по горизонтали и по вертикали.

Если рисунок больше листа принтера, его можно уменьшить или распечатать на нескольких листах. В таких случаях прежде всего нужно обратиться к View/Page Breaks — появятся серые линии, указывающие разбивку страницы и поля.

6.10.11. 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` (не во всех версиях), `TIF`, `BMP`, `WMF` через меню `File`. При этом, возможно, придется ответить на вопросы о дополнительных опциях. Для нас особенно интересно преобразование в формат `PCX`, поскольку только такие рисунки умеет вставлять в рукописи LaTeX 2.09. Для этого, выбрав меню `File/Save as...`, нужно задать произвольное имя результирующего файла и расширение `PCX`. После команды `Сохранить` откроется окно `PCX Output Filter Setup`. Цветность следует задавать `Bi-Color`; режим преобразования — `Normal`; разрешение — в соответствии с принтером; размеры в дюймах — делением требуемого при распечатке числа сантиметров на 3.3. К сожалению, вставка тоновых рисунков с преобразованием цветов в оттенки серого не проходит.

При работе в LaTeX 2_ε оптимален векторный формат `WMF`, а при необходимости зеркального отражения рукописи — `BMP`.

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. Диссертант должен быть вооружен соответствующим логическим и математическим аппаратом.

7.1. Формальная логика

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. К сожалению, основы логики выпали из программ и общего среднего, и высшего технического образования, тогда как следовало бы изучать ее еще в младших классах. Тем более она должна входить в арсенал каждого ученого — в частности, в связи с бурным развитием систем искусственного интеллекта. Логика нужна как в собственных исследованиях, написании и защите научных работ, так и при опровержении чужих тезисов в процессе печатной или устной дискуссии.

Основные законы логики являются итогом многовековой практики познания. Логическая мысль зародилась не менее чем за 3000 лет до н. э. От времен Мохенджо Даро дошли основы великих логических построений, живых до наших дней. «Логика, хотя и не формализованная, часто служила талмудистам, средневековым теологам и схоластам, религиозным философам и даже атеистам для решения проблем, связанных с Богом — его всемогуществом, добротой и т. п.» [24, с. 6].

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. [44, 45, 74, 190]). Для лучшего усвоения их рекомендуем задачник [45].

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. 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 не должно содержать логического круга, т. е. прямой или косвенной ссылки на себя же. Примеры нарушения перечисленных требований:

- *Пехота — царица полей*: это 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 (Антуан де Сент-Экзюпери): «*Я пью, потому что мне стыдно — мне стыдно, потому что я пью*». Приведем еще несколько примеров логического круга в заготовках для построения силлогизмов из [54]:

- 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. Суждение может быть истинным лишь как частноутвердительное.

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). К базисным категориям относятся 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 [175, 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 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.

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 [20, 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.

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:

[1] Здесь причинная связь была вскрыта много позже.

- 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.

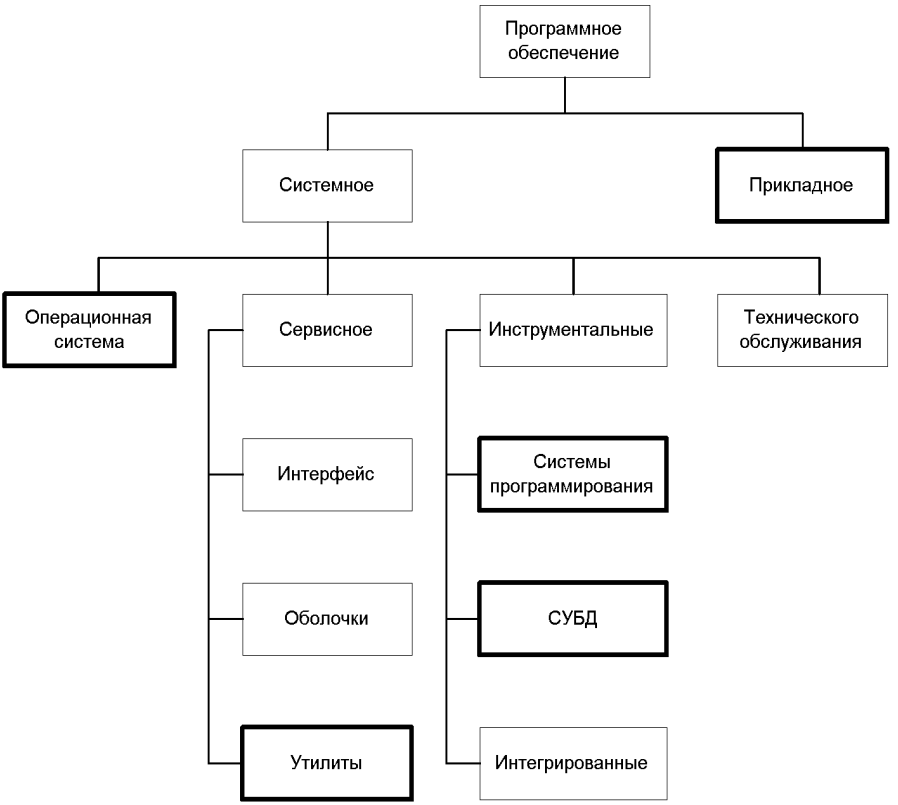

Рис. 7.1. Структура программного обеспечения ПЭВМ

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.

Закон противоречия в указанной форме не имеет места в многозначных логиках: в квантовой механике, например, используется трехзначная логика [91, с. 205].

Логический вывод в общем случае есть многоэтапный процесс перехода от посылок к заключениям и далее от полученных заключений как новых посылок — к новым заключениям. Аргументы должны доказываться независимо от тезиса и не противоречить друг другу. Бывает, что они не имеют отношения к тезису (мнимое следование). Подчеркнем, что 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* [175].

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. Примеры:

$$\frac{\text{Все } S \text{ суть } P}{\text{Ни один } S \text{ не есть не } P}; \quad \frac{\text{Некоторые } S \text{ не суть } P}{\text{Некоторые } S \text{ суть не } P}.$$

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).

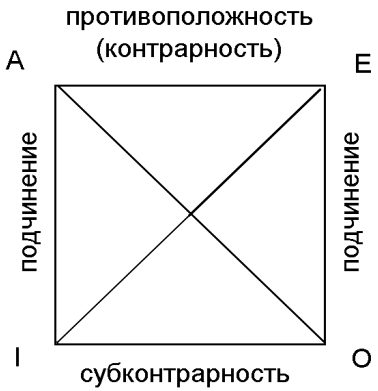

Рис. 7.2. Логический квадрат

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):

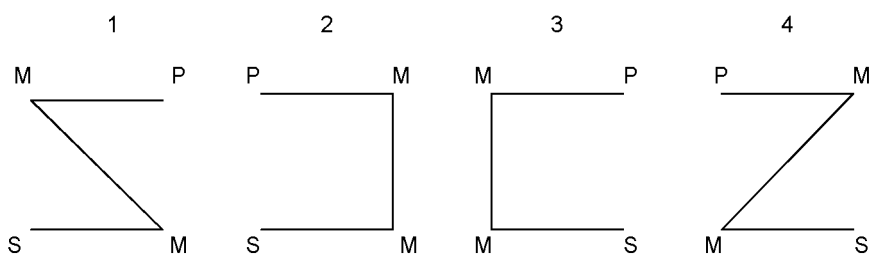

Рис. 7.3. Структура посылок силлогизма

Первая фигура способна давать общие 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 общая, а одна из посылок и заключение — отрицательны.
- 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 классификация.

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.

Частным случаем силлогизма является *энтимема* — неполный силлогизм, в котором одна из посылок подразумевается.

В мышлении встречаются и цепи силлогизмов — полисиллогизмы. В *соритах* из таких цепей выбрасываются промежуточные силлогизмы и посылки. Для проверки доказательности усеченного умозаключения надо предварительно восстановить его полную форму.

Рассмотрим еще несколько типов умозаключений. Рассуждение по схеме

$$\frac{a \to b}{\bar{b} \to \bar{a}}$$

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:

$$\frac{a \to b;\ b}{\text{вероятно, } a}; \qquad \frac{a \to b;\ \bar{a}}{\text{вероятно, } \bar{b}}.$$

Рассматриваются также *разделительно-категорические* умозаключения, в которых посылки имеют дизъюнктивную структуру: утверждающе-отрицающие

$$\frac{a \oplus b;\ a}{\bar{b}}; \qquad \frac{a \oplus b;\ b}{\bar{a}}$$

и отрицающе-утверждающие

$$\frac{a \vee b;\ \bar{a}}{b}; \quad \frac{a \vee b;\ \bar{b}}{a}; \quad \frac{a \oplus b;\ \bar{a}}{b}; \quad \frac{a \oplus b;\ \bar{b}}{a}$$

(здесь через $\oplus$ обозначено исключающее ИЛИ). В посылках заключений этого типа должны быть перечислены *все* альтернативы.

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, [116, с. 87]). Лаплас [116, 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 [175] 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.

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 есть рассуждения по схеме «от частного к частному». Они играют колоссальную роль в творческом процессе. 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 [201, с. 59–60] обсуждаются аналогии, проведенные при выводе уравнений Максвелла. Аналогией является также объяснение «красного смещения» излучения удаленных галактик через акустический эффект Допплера.

Для аналогий принципиально важна принадлежность исходных суждений к единому «общему» (в приведенном примере — 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 понятие «аргументация» богаче, чем «доказательство». Целью доказательства является лишь установление истинности тезиса, а аргументации — еще и обоснование целесообразности (полезности) принятия этого тезиса. При построении доказательств можно следовать принятой в древнеиндийской логике пятичленной схеме: тезис, основание, пример, применение, вывод [45, с. 51].

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 типичном 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 должен 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 [125]: «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 при этом 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;
- 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.

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.

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 неизбежно 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. Разумеется, такое удлинение многократно увеличивает время счета. Выбор длины сетки должен быть разумным компромиссом между трудоемкостью и точностью.

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), позво-

ляющая провести гладкую кривую через заданные точки. 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 [83] 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. В своей обычной реализации он порождает избыточные вычисления на участках достаточной гладкости подинтегральной функции. 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 некоторые численные методы, применяемые для хранимых матриц, весьма отличаются от методов, приспособленных для упакованных разреженных матриц регулярной структуры (треугольных, ленточных, блочных). Первые более универсальны; вторые намного более эффективны в специальных случаях и позволяют решать задачи большей размерности.

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. [187]. Для некорректно поставленных задач решение тем или иным способом *обобщается*. В частности, плохо обу-

словленные линейные системы 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» значения, 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 комплексных 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 [14, с. 345]. Задачи минимизации (в частности минимизации суммы квадратов невязок при решении систем нелинейных уравнений) часто решаются методом скорейшего спуска. Если изолинии уровня являются эллипсоидами большого эксцентриситета, продвижение к минимуму, находящемуся в центре, происходит очень медленно. Маршрут состоит из осцилляций в направлении локальных градиентов, даже приблизительно не указывающих направление к центру эллипсоида. В таких случай необходимо сглаживание колебательности или применение метода сопряженных градиентов [122]. Овражные целевые функции, как правило, возникают при неудачной постановке задачи [14, с. 347] и

оптимизируются движением по дну «оврага». При оптимизации с ограничениями и выходе на границу области направление движения проецируется на эту границу.

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, «жесткость». В жестких задачах компоненты физического процесса обладают несоизмеримыми характерными временами. В одних задачах этого вида важен начальный участок, в других — асимптотическое поведение. Шаг, выбранный по быстрым компонентам, оказывается мал, и решение идет слишком долго, а увеличение шага ведет к потере устойчивости. Некоторые численные методы неприемлемы для решения жестких задач, ибо они неуклонно стремятся следовать за быстрыми решениями, даже если вклад последних стал несущественным. Жесткие уравнения характерны, например, для задач химической кинетики.

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 [83, с. 375]. Динамический выбор порядка делает соответствующие программы самостартующими.

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 локаль-

ную 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. 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. Решения должны быть обоснованными (доказуемыми). Часто оказывается, что «у статистика глаза больше желудка», и он продолжает накопление данных вместо того, чтобы перейти к их осмысливанию. Между тем, 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 [81, с. 232].

Исследователь должен иметь хотя бы минимальное представление о задачах статистики и уметь оценить в этом смысле возможности имеющегося 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. В некоторых случаях 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 $P(AB) = P(A)P(B)$.

В экспериментах со случайным исходом нас часто интересуют величины, которые имеют числовое выражение (наработка на отказ, время ремонта, длительность поиска информации). 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

$$f(t) = \frac{\mu(\mu t)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\mu t} \tag{7.3.1}$$

с одинаковым средним $\alpha/\mu = 1$ и различными параметрами α. Иногда тип распределения удается установить априорно из теоретических соображений. Из непрерывных распределений чаще всего применяются нормальное (гауссово), показательное, эрланговское, гамма-, Вейбулла, Релея; из дискретных — геометрическое, биномиальное, распределение Пуассона.

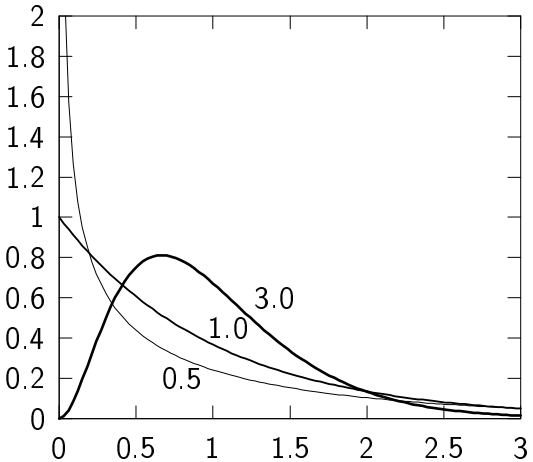

Рис. 7.4. Гамма-плотности

Числовые характеристики. Проблема свертки информации впервые была четко поставлена именно в математической статистике. Для компактного представления свойств распределений обычно используются квантили и моменты. *Квантилью* случайной величины по вероятности p называется решение уравнения $F(x) = p$. Обычно рассматриваются 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 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.

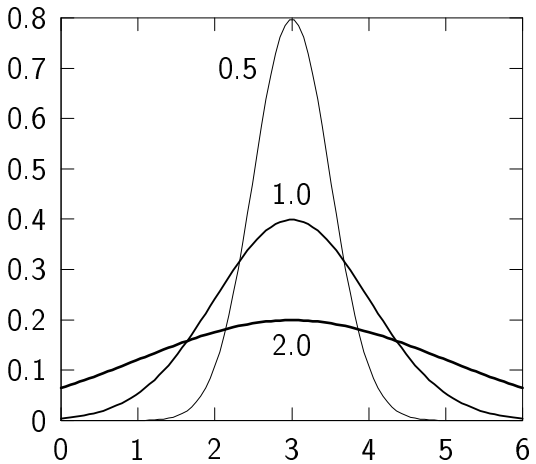

Рис. 7.5. Нормальные плотности

Полезным и доступным справочником по вероятностным распределениям может служить [28].

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. Представив каждый класс в виде прямоугольника, основание которого равно диапазону значений, а высота — частоте попаданий в этот диапазон, получаем *гистограмму* распределения, которая является наиболее наглядной графической формой его представления. 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) — это 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 [114, с. 53], но диссертанты постоянно [86] 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. Прежде чем обрабатывать данные по методикам для этого распределения, убедитесь, что вы имеете дело именно с ним. Покажите это в тексте. Если полученная значимость гипотезы мала, увеличивайте не количество опытов, а однородность выборок.

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 отыс-

киваются 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. Произведение преобразований Фурье двух функций является сверткой составляющих, что позволяет автоматизировать выполнение свертки. Аналогичный результат установлен для ковариации двух функций. 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). N-точечное дискретное преобразование Фурье можно выполнить, производя два $N/2$-точечных преобразования над слегка модифицированными исходными данными. Такое «располовинивание» можно выполнить многократно. Кроме того, можно однократно вычислять требуемые синусы и косинусы. В итоге трудоемкость вычисления дискретного преобразования Фурье снижается по порядку с N^2 до $N \log_2 N$. Например, при $N = 1024$ уменьшение происходит в 100 раз, при миллионе точек — в 50 000 раз.

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*. Во все названные (и неназванные) специально статистические пакеты входят средства решения перечисленных выше задач математической статистики. Кроме того, статистические разделы разного объема входят в состав математических пакетов и табличных процессоров общего назначения (*Quattro Pro, Lotus 1-2-3* и др.), а также в некоторые СУБД. Сопоставление шести пакетов по перечню процедур и подробное описание техники работы с пакетами *Statgraphics* и *Stadia* приводятся в [189]. Два последних пакета сравниваются по комплексу показателей, причем явное предпочтение отдано пакету *Stadia*. Пользователь предостерегается относительно применения встроенных в непрофессиональные пакеты «статистических примочек», часто содержащих ошибки.

В общематематические пакеты (видимо, их следует считать профессиональными) обычно входят достаточно содержательные статистические разделы.

7.4. Задачи исследования операций

Исследованием операций (ИО) называется применение математических методов к анализу 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.

Современные методы ИО являются важнейшим инструментом профессиональной деятельности *организаторов* производства в широком смысле слова, прежде всего военных. Перечислим основные методы исследования операций [33, 51].

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. 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 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 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 [158, 169] 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 [51, 161, 169] 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 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).

На общедоступном рынке программного обеспечения нет пакетов программ, профессионально реализующих достаточно широкий круг методов и моделей исследования операций. Задачи оптимизации (исключая линейное программирование) обычно рассматриваются в простейших постановках, без информации о методе решения и возможностей его выбора.

7.5. Имитационное моделирование

7.5.1. Идея метода

Здесь система моделируется путем отслеживания управляющей программой характерных событий в модельном времени. Для каждого типа событий создается программа их обработки, которая описывает происходящие при его наступлении изменения состояния. Внутри подпрограмм время не продвигается.

Процесс моделирования есть упорядоченная по возрастанию моментов их наступления последовательность взаимосвязанных событий, отражающих «жизненный путь» объекта в системе. Имитационное моделирование в принципе позволяет воспроизвести любой марковский (полностью определяемый своим текущим состоянием) процесс. Его идею мы рассмотрим на примере 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 с ограниченной очередью.

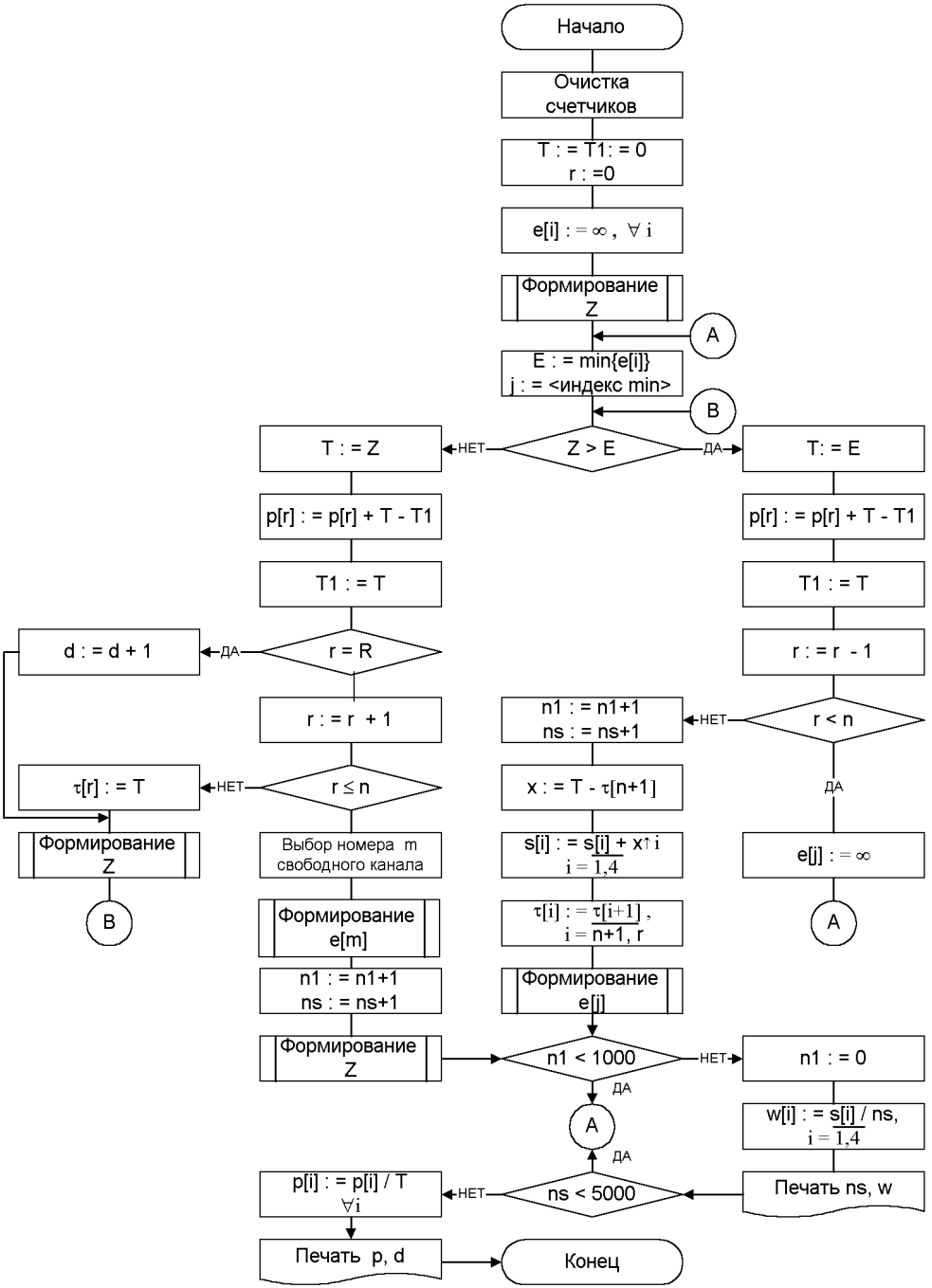

Рис. 7.6. Структурная схема имитационной модели

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.

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 заявок полагаем равными бесконечности (реально — числу, заведомо превышающему предельное значение таймера в процессе прогона). 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 метку B — 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 числа случаев ожидания $n1$ и ns; опять же формируется момент прибытия новой заявки; при $n1 < 1000$ происходит возврат к выбору $\min\limits_i\{e[i]\}$, поскольку в данном варианте 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 минимальной компоненты массива e.

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 моментов распределения времени ожидания. Затем продвигается очередь (точнее, записанные в ней моменты $\{\tau[i]\}$ прибытия в систему ожидающих заявок) и формируется время $e[j]$ освобождения вновь занимаемого j-го 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. Имитационное моделирование иногда называют *статистическим*, поскольку заключительная обработка результатов его выполняется методами математической статистики (в нашей модели были использованы простейшие оценки).

Недостатками имитационного моделирования являются:

- большой расход машинного времени;
- малая точность вероятностных характеристик редких событий;
- вероятностная оценка погрешностей;
- сложность оптимизации системы (поиск оптимума ведется при

наличии вероятностных помех — случайных ошибок в результатах);

- трудность получения обобщающих выводов и рекомендаций.

7.5.2. 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, с приемлемой погрешностью вычисляется моделированием. 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 [171].

7.5.3. 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 класса 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, система снабжения 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 популярными системами моделирования являются *GPSS* (см. ниже) и ее аналоги. В качестве «предельного» инструмента можно рассматривать *NetCracker*, предназначенный для моделирования вычислительных систем и сетей, содержащий обширную базу данных по аппаратуре различных фирм и автоматически учитывающий протоколы взаимодействия технических устройств.

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.

7.5.4. Понятие о GPSS

Общая характеристика. Появившаяся в начале 1960-х гг. общецелевая система имитационного моделирования *GPSS* [182, 207] по сию пору остается самым популярным языком имитационного моделирования в мире. Она глубоко повлияла на ряд других языков моделирования

и наряду с *Фортраном* и системой TEX являет редчайший пример долгожительства в мире программного обеспечения. *GPSS* широко используется и в России — как в учебном процессе, так и при решении практических задач. Как отмечается в статье В. В. Девяткова («Компьютерра», № 21 (496)), «в СССР более тысячи организаций — пользователей ЕС ЭВМ приобрели пакеты ПМДС. Более 100 вузов использовали *GPSS* в учебном процессе... Имеются и практические примеры: модель гальванической линии (ГУП "Адмиралтейские верфи", Санкт-Петербург); исследование эксплуатационных издержек технического обслуживания самолетов в аэропорту (АО ИЛ, Москва); анализ системы передачи данных "Радионет" (ИППИ, Москва)».

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.

Система *GPSS* прошла долгий путь развития. До недавних пор ее главными недостатками были:

- низкий уровень входного языка;
- невозможность реализации нестандартных вычислений;
- скрытость от программиста внутренней логики поведения модели.

Они резко ограничивали полезность системы. Радикальные улучшения произошли с переходом к *Windows*-версиям (2000 г.), 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. В рамках проекта может существовать множество автоматически нумеруемых версий.

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. Команда `CONDUCT`, начиная *Эксперимент*, берет на себя управление Имитацией.

2. Интерфейс ориентирован на пользователя. Однострочный текстовый редактор для набора модели заменен на полноэкранный с реализацией стандартных функций *Windows* — выделение текста, работа с буфером `Clipboard`, управление типом и размером шрифтов `TrueType`, операции с файлами. Есть возможность замены 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. В особо сложных случаях возможно получение Snapshots — снимков мгновенного состояния цепей событий, используемых для отладки логики модели. 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 потоками данных (открытие и закрытие файлов, запись и считывание информации из них).

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 исключительно 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 (в данном случае с аргументом 1). 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 — смещение экспоненты (нулевое), 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 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. В составлении приведенной программы было трудно ошибиться (к тому же она отличается от обсуждаемой у Дж. Шрайбера [207] 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.

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

Время ожидания зависит уже от *двух* моментов распределения времени обслуживания — см. формулу (4.3.5). 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. Эти ошибки усугубляются погрешностями перехода к показательному распределению в `Exponential` и отчасти нейтрализуются (чисто случайный эффект) при использовании табличного преобразования. Увеличение числа проведенных испытаний в общем приближает результаты к ожидаемым.

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 и 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 и выражение некоторых стандартных числовых атрибутов (коэффициента использования устройства) в тысячных долях.

3. Неудачные обозначения операторов отношения `L, G, E` (было бы лучше согласовать с фортрановскими); арифметическое `SQR` используется для квадратного корня (в *Паскале* так обозначается *квадрат*); в связи с «числовым» представлением логических значений и объединением понятий числового равенства и логической эквивалентности нарушено общепринятое старшинство операций; 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. Комментарии с кириллическими символами не воспринимаются компилятором как ошибка, но исключают правильную работу Имитации; не допускается вывод в файл кириллического текста; отсутствуют средства управления *форматом* вывода.

6. 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). Крайне неудобен просмотр матриц через динамическое окно: одновременно можно видеть только два столбца.

7. 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.

8. 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.

9. При работе с процедурой дисперсионного анализа ANOVA нельзя менять расчетный уровень значимости.

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.

7.5.5. 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 окончательной проверки рекомендаций соискателя в условиях максимальной реалистичности модели.

Разумеется, должны оцениваться точность и надежность результатов.

Дж. фон Нейман [116, с. 226] считал, что грамотное применение метода Монте-Карло («ближайшего родственника» имитационного моделирования. — *Ю. Р.*) должно обеспечить нам такое проникновение в существо проблемы, которое позволит использовать новые (полученные или выбранные) аппроксимации для анализа других аналогичных случаев. Следовательно, снова прибегать к использованию метода Монте-Карло придется только для поиска новых или более тонких результатов.

7.6. 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 математика) 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, 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[2]. 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. Компьютерная алгебра применялась в небесной механике, физике элементарных частиц, теории гравитации и общей теории относительности, для расчета обработки турбинных лопаток. В робототехнике с ее помощью решалась задача «носильщика пианино» (выбор траектории движения громоздкого объекта в узкостях со сложной геометрией). В настоящее время готовится вклю-

[2]Одним из предтеч компьютерной алгебры был С. Рамануджан. В статье, опубликованной к его столетию (1987 г.), отмечалось использование его результатов при разработке системы *Macsyma*.

чение компьютерной алгебры в перечень научных специальностей ВАК.

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. Впрочем, это относится и к числовым расчетам.

Непосредственно получаемые в компьютерной алгебре выражения вследствие общности механизмов вывода зачастую громоздки и неэффективны. Эта ситуация в точности аналогична генерации объектного кода в трансляторах с алгоритмических языков. *Автоматическая* генерация отрезков программ на классических процедурных языках, возможная в наиболее мощных математических пакетах, исключает ошибки переноса и кодирования и позволяет оптимизировать счет (например, путем экономии выражений и чистки циклов встроенными средствами трансляторов на уровне входного языка).

7.6.1. Типовые возможности пакета

Вот перечень типовых задач, решаемых математическим пакетом даже без внешних расширений (библиотек):

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 в дробно-рациональной форме с регулируемой разрядностью.

4. Символьные операции с полиномами, дробно-рациональными функциями, функциями одной и многих переменных, включая раз-

ложение 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:

`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. Последние дополнительно содержат теоретический материал.

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. 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.

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».

При наличии большого числа параметров или при необходимости иллюстрации тонких эффектов (разница в младших знаках результатов) вместо графиков предпочтительно использование таблиц.

Выходным документом математического пакета обычно является так называемый рабочий лист (`Worksheet`) или блокнот (`Notepad`) с минимумом текста и стихийно сложившимся размещением «математики». Качество его набора оказывается неудовлетворительным. Для переноса нужных результатов в набираемые тексты большинство пакетов обеспечивает перевод рабочего листа в формат издательской системы LaTeX.

7.6.2. 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 $(\sqrt{z})^2 \to z$ для комплексного и 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. Далее, $\sin n\pi = 0$ имеет место только для целых n. 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 проводить над дубликатами задачи и/или ее промежуточных стадий.

Результаты некоторых преобразований выглядят неожиданными: например,

$$2 \cdot \arctan(\tan x/2) = x - 2\pi \operatorname{floor}\left(\frac{x}{2\pi} + \frac{1}{2}\right)$$

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 уравнений обычно требуется указание начальных приближений или области нахождения корней.

7.6.3. 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 [167] (это сэкономит вам тысячи рублей на приобретении компакт-дисков и отдельных руководств по каждому пакету и полгода работы) и либо самостоятельно выбрать имеющий «необходимые и достаточные» возможности, либо согласиться с автором и работать в *Scientific WorkPlace* (далее — *SWP*). Разумеется, для ис-

пользования 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 (процессор 486 или Pentium, не менее 8 Мбайт оперативной памяти и свыше 100 Мбайт дисковой) 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.

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* [133, 167]. В нем каждая сравнительно узкая предметная область предварительно описывается системой математических соотношений. Система по заданным исходным объектам и перечню требуемых самостоятельно формирует 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 диссертации.

7.6.4. Сравнительное тестирование пакетов

Этот раздел в контексте данной книги особенно важен, поскольку одновременно служит примером сопоставления вариантов решения произвольной проблемы.

Постановка задачи. Перед исследователем, пожелавшим работать с пакетами математических программ, прежде всего встает проблема выбора *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 по кругу аналитических методов из стандартного втузовского курса. Выбор тестовых задач производился из известных справочников [148] и задачников, был в значительной степени случаен и ориентировался на максимальный разброс результатов тестирования разных пакетов. Набор задач приводится в [167].

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» среди них не нашлось. *MatLab* не имел средств расчета произведений, а *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 — комплексные).

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 заметно ускоряющей набор оперативной панели символов.

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 [167].

В табл. 7.2 представлены итоговые оценки. По данным этой таблицы можно построить лучевые диаграммы (они же диаграммы Кивиата), весьма удобные для сопоставления нескольких объектов по совокупности показателей[3]. 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.).

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

Несколько рекомендаций по диаграммам Кивиата:

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.

[3]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.

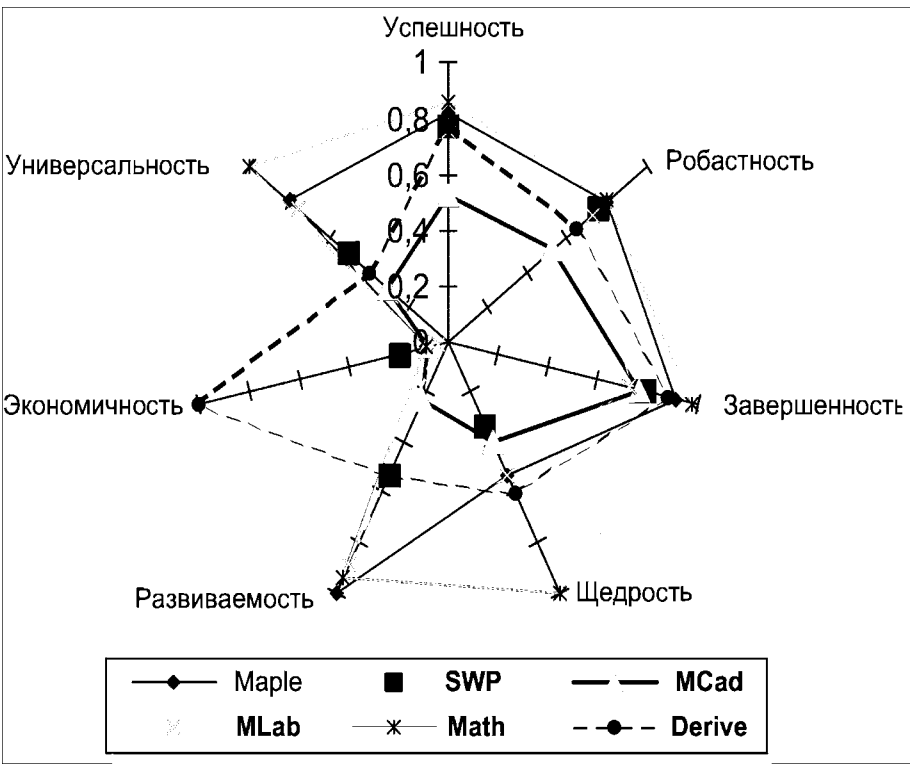

Рис. 7.7. Функциональные возможности пакетов

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.

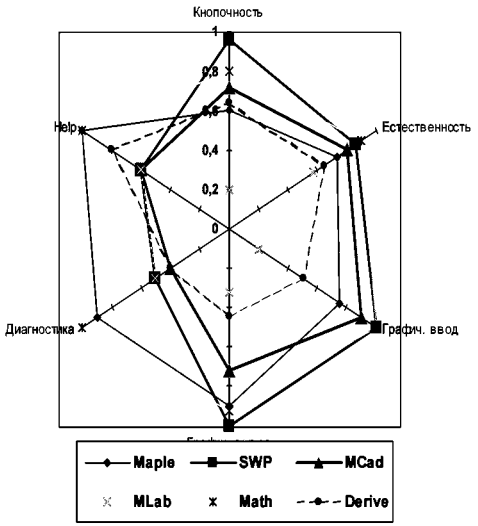

Рис. 7.8. Интерфейс пакетов

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 вывод

пошаговых преобразований, что имеет значительную образовательную ценность.

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 4.0* представляется наиболее удобным для начинающего научного работника средством автоматизации математических расчетов. Сравнительно подробное описание его читатель может найти в главе 31 [133].

7.6.5. Еще 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 возможными альтернативами.

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.).

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. Сравнивались 18 образцов от различных производителей.

Стоимость измерялась одной компонентой — ценой в долларах.

Комплектность задавалась типом процессора; его тактовой частотой; объемом памяти (типовой и максимальный) и кэша второго уровня; объемом винчестера (HDD); размером экрана; объемом видеопамяти; типом видеошины; типом манипулятора (аналог мыши); типом батарей; предустановленной операционной системой.

Функциональность определялась по разрешению экранной матрицы; панорамируемому разрешению; разрядности задания цветности; типу CD-привода; наличию и типу модема, а также наличию разъемов PCM/CIA, выхода для наушников, входа для микрофона, линейных входа и выхода для звука, входа/выхода видео.

Мобильность характеризовалась весом; габаритами; модульностью конструкции; компоновкой FDD- и CD-привода; временем автономной работы; длительностью зарядки (в выключенном состоянии и в ходе работы); утечкой заряда за сутки; прочностью корпуса и крышки; надежностью шарнира корпус/экран; наличием блокировки кнопки питания.

Удобство определялось временем выполнения комплексного теста; качеством изображения на экране; равномерностью подсветки экрана; углом видимости изображения; качеством воспроизведения текста; ориентацией разъемов; качеством звуковых колонок и встроенного микрофона; наличием внешнего регулятора громкости; способом русификации клавиатуры; количеством неудобных и неудачно расположенных клавиш; допустимостью подключения внешних монитора, клавиатуры и мыши; возможностью настройки указательного устройства; удобством FDD и HDD; температурой днища при работе.

Производительность измерялась временем прогона 9 стандартных тестов арифметики целых и действительных чисел, позиционирования CD и передачи данных с него и т. д.

Поддержка эксплуатации оценивалась по сроку гарантии, региону сервиса, количеству сервис-центров в России, русификации документации и наличию интерактивной справочной системы.

Поощрения и штрафы. *Штрафы* накладывались за недопустимость одновременной работы с CD и FDD и невозможность подключения внешней клавиатуры; слепую русификацию; русификацию с приоритетом русских букв; нестандартность обозначений некоторых клавиш (пиктограммы); отсутствие правых клавиш [Ctrl] и [Alt], перестановку [PgUp] и [PgDn], неудобное расположение [Ins] и [Del]; узкие клавиши-стрелки; символьные клавиши в нижнем ряду клавиатуры; тугие и/или нечетко срабатывающие кнопки манипулятора; расположенные на днище динамик и/или вентилятор; потемнение в углах или по краям экрана; волны на экране при вращении или деформации крышки; слабую защелку крышки, невозможность открыть крышку одной рукой, подверженность материала крышки царапинам; неудобное расположение встроенного микрофона и разъемов внешнего микрофона и наушников; ненадежное крепление кабелей; необходимость в переходниках для звуковых разъемов.

Поощрялись наличие блока цифровой клавиатуры и специальных портов и разъемов для внешних мыши и клавиатуры; встроенного блока питания; регулятора яркости дисплея; двух типов встроенных манипуляторов, а также возможность использования закрытого ноутбука в качестве CD-плеера.

Комплексные оценки по каждой из групп параметров для получения итогового рейтинга в каждой из четырех номинаций («Интегральный критерий») взвешивались с коэффициентами, указанными в табл. 7.3. Явно напрашивается объединение групп комплектности, функциональности и производительности и рассмотрение «поощрений и штрафов» как компонент оценки удобства, учитываемых с тем или иным знаком. По-видимому, целесообразно и здесь разделить показатели на функциональные и эксплуатационные (к последним следует отнести «мобильность», «удобство» и «поддержку»).

С другой стороны, следует похвалить неназванных авторов цитируемого обзора за ценную мысль проведения сопоставлений по нескольким номинациям с предварительной группировкой претендентов на них. В целом этот пример убедительно подтверждает актуальность многокритериальных оценок. Остается только сожалеть, что в цитированном первоисточнике не построены соответствующие лучевые диаграммы.

Таблица 7.3. Весовые коэффициенты

Группа	Интегральный критерий			
	Стоимость	Мобильность	Возможности	Баланс
Стоимость	50	25	20	25
Комплектность	6	3	12	6
Функциональность	6	3	20	15
Мобильность	12	50	6	15
Удобство	12	6	12	15
Производительность	6	4	20	15
Поддержка	5	6	6	6
Поощрения и штрафы	3	3	4	3

7.6.6. 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] будет скорректирована ширина колонок с тем, 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 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 светлосерой: 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.

7.7. Языки программирования

7.7.1. 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.

Начинающий программист обычно недооценивает проблемы отладки и универсальности; поэтому он чаще пишет собственные процедуры, тогда как опытный ищет ранее созданные. Но есть три причины, заставляющие даже очень занятого программиста отказываться от поставленного «втемную» продукта. Первая причина лежит в педагогической сфере: тексты программ должны быть доступны обучаемым. Во-вторых, в открытую программу можно внести дополнения и изменения, расширяющие сферу ее применения или повышающие эффективность для частных случаев (так устроены *Maple* и *MatLab*). В-третьих, при этом можно исправить обнаруженную ошибку разработчика. Поэтому постепенно меняется характер используемых программных средств: закрытые ПП уступают место инструментальным системам и средам, при работе с которыми пользователь создает собственные библиотеки моделей и методов обработки данных.

Эти и изложенные в предыдущих главах соображения позволяют считать тезис, что «основная масса студентов серьезно никогда программировать не будет, и нечего тратить время на их обучение анализу, вычислительной математике, методам оптимизации и программированию» [134], глубоко ошибочным — по крайней мере по отношению к тем из них, кто будет *работать инженером*.

7.7.2. 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 экспериментальное 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. Языковая ниша — это комплекс внешних условий, потенциально способствующих выживанию одного языка программирования. Размер ниши зависит от свойств (в том числе привычек) контингента пользователей, проблемной области, программной среды (компьютеры инструментальные и целевые, операционные системы, прикладные пакеты и т. п.), качества реализаций, экономической и/или иной заинтересованности фирм, ведомств, правительств. Он может меняться со временем.

Представляются реальными, экономически оправданными и перспективными усилия по «естественному отбору» в каждой нише — в частности, через формируемые с участием пользователей стандарты.

7.7.3. 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.» [82, с. 19]. Основными проблемами программного

обеспечения являются его надежность, производительность разработки, 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. Перечислим основные компоненты развитой АСПП:

Редактор есть инструментальное средство для создания и изменения исходных файлов, содержащих программу (части программы) и исходные данные.

Компилятор транслирует исходный текст в объектный модуль, который содержит команды в машинном коде конкретной машины.

Библиотекарь поддерживает работу с ранее полученными совокупностями объектных файлов (добавление, удаление, обновление).

Компоновщик (он же редактор связей, линкер) собирает объектные файлы отдельных компонент программы и системные подпрограммы и разрешает внешние ссылки между ними, формируя исполняемый файл.

Загрузчик копирует исполняемый файл с диска в оперативную память и инициализирует компьютер перед выполнением программы.

Отладчик дает возможность управлять выполнением программы на уровне отдельных операторов исходного текста для диагностики ошибок. Поскольку оптимизирующая часть компилятора изменяет программу, последнюю, возможно, будет трудно отлаживать с помощью отладчика исходного кода (это дополнительный аргумент в пользу авторской оптимизации). Из-за сложности оптимизатора вероятность ошибки в нем выше, чем в любой другой компоненте компилятора. После оптимизации обязательно повторное тестирование.

Профилировщик измеряет, сколько времени затрачивается на каждую компоненту программы. Затем программист может улучшить эффективность критических компонент, забирающих бóльшую часть

времени выполнения, или изменить алгоритм (последнее обычно предпочтительнее).

Средства тестирования автоматизируют процесс тестирования программ, создавая и выполняя тесты и анализируя результаты тестирования. К ним, в частности, относятся средства моделирования среды (воздушное движение, состояние больного, орбитальный полет). При серьезных обновлениях обязательно повторное тестирование всего комплекса.

Средства конфигурирования типа `make` автоматизируют создание программ и прослеживают изменения до уровня исходных файлов. Они обновляют объектные файлы, для которых изменились исходные модули. Сюда же следует отнести средства контроля версий.

Интерпретатор в отличие от компилятора, переводящего исходный файл в объектный, непосредственно выполняет исходный код программы.

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. В АСПП содержится бóльшая часть перечисленных выше компонент, каждая из которых инициируется нажатием клавиши (выбором пункта меню).

7.7.4. Свойства современных языков программирования

Язык программирования — 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. Поэтому во всем мире наиболее опытные и авторитетные программисты высоко оценивают такие языки, как

Алгол 60 (для своего времени), *Алгол 68*, *Симула 67* и *Паскаль*, и скептически относятся к старому *Фортрану*, *ПЛ/1* и им подобным [11].

К сожалению, слишком многие программисты страстно любят свой «родной» язык программирования и неспособны ни проанализировать и сравнить конструкции языка, ни оценить преимущества и недостатки современных языков и языковых понятий. Языковые конструкции используются без должного отбора, практически без учета их надежности и эффективности. 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 автора).

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 [103, с. 147]. Именно прагматика должна составлять основу содержания 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. Объявление 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 обратная ей.

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*.

Представление числовых типов. Ни в старом *Фортране*, ни в *Алголе* не было средств явного управления диапазоном и точностью числовых данных. Можно было указать, что требуется «двойная точность» (в некоторых случаях градаций больше); какова эта точность — зависело от реализации. Для многих приложений (прежде всего в производстве программ для управляющих машин — при взаимодействии с нестандартными устройствами ввода-вывода или со средствами преры-

вания целевой машины, в некоторых научных вычислениях) стандартный набор вариантов оказывается недостаточным. Это ограничивает переносимость программ. По этой причине, а также благодаря появлению относительно эффективной реализации вычислений с любой заданной точностью (посредством микропрограммирования), в новых языках появилась возможность определения объектных машин (спецификации представления). В частности, можно задавать форматы чисел с фиксированной точкой для систем управления, где используются информационные поля постоянной длины.

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 самом неожиданном месте программы и трудно диагностируется. Для статических объектов такие ошибки могут быть сравнительно легко выявлены в процессе трансляции, для динамических — только в процессе счета и ценой значительного удлинения выполняемой программы и времени счета.

Когда ЯП не предоставляет адекватных выразительных средств, динамические объекты приходится моделировать с помощью квазистатических объектов. Например, в старом *Фортране* динамические очереди, списки, таблицы, стеки моделировались статическими массивами. В *Паскале* вместо динамических массивов приходится задавать статические с максимально возможными границами или перекомпилировать программу после вычисления реальных границ — способ, применимый далеко не всегда.

Истинно динамические объекты отличаются от статических или квазистатических двумя особенностями:

- они создаются при выполнении так называемых генераторов, а не при обработке объявлений;
- доступ к ним осуществляется через объекты ссылочных типов.

Структуризация *программы* достигается свободным форматом ее записи (с выявлением вложенности конструкций) и применением струк-

турированных 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 проверкой 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.

Блочный оператор соединяет последовательность выполняемых операторов с непосредственно предшествующими объявлениями в единую область локализации.

Уровень языка. Языки программирования служат для преодоления разрыва между аппаратными средствами и реальным миром. 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; позволяет укрупненно описывать операции над сложными структурами (например, массивами);

- 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 языках (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. При этом исключаются ошибки перестановки параметров и появляется возможность 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 реализационными методами. Модуль можно применить, например, для создания виртуального компьютера в кросс-системе программирования.

Модуль состоит из набора объявлений и последовательности операторов, которые заключены 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.

Фраза `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.

Стандартизация. Если для языка существует стандарт и если компиляторы его поддерживают, то программы можно переносить с одной платформы на другую. Стандарты можно разделить на регистрирующие и опережающие. Первые базируются на опыте эксплуатации АСПП различных разработчиков (вспомним *Фортран 66* и *Фортран 77*); вторые формируются при разработке принципиально новых языков про-

граммирования (*Ада, Фортран 90*). К компонентам среды программирования, которые можно стандартизовать, помимо языков относятся компоненты ОС (средства разделения ресурсов, связывания и загрузки программных модулей, ввода-вывода); средства доступа к базам данных и сопряжения с базами знаний; текстовые редакторы; статические анализаторы программ; динамические анализаторы (профайлеры); средства реконфигурации аппаратных и программных систем, каталогизации и параметризации языковых модулей. Все требования стандартов должны быть *эффективно проверяемыми*.

Реальные АСПП обычно включают в себя дополняющие стандарт «фирменные» средства (например, *Fortran PowerStation* — расширения от *Microsoft* и других разработчиков).

7.7.5. 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 как общего, так 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 ([103, 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 призводительность программирования. 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».

Этот раздел мы завершим цитатой [34, с. 54]: «Реклама преподносит ООП как новый, революционный подход к программированию. Прогресс есть, но не настолько большой... Что появилось новое — это терминология».

7.7.6. Требования к языкам

Языки следует сравнивать не между собой, а по степени приспособленности к предметной области. Перечислим и прокомментируем свой-

ства 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 сходные конструкции и по-разному — различные).
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» [103, 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. Инкрементные линкеры (повторные перекомпиляция и связывание только исправленных модулей).
7. 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.

7.7.7. Технологии производства программ

Технология промышленного производства программ непосредственно не связана с языком программирования, но имеет те же ориентиры — прежде всего надежность и производительность. По современным воззрениям, условия их достижения 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. Целевые установки создателей и испытателей должны быть *противоположными*, и именно в их соревновании рождается высокое качество программного изделия. Следует стремиться к

наиболее «разрушительным» тестам. Замысел разрушительного теста могут подсказать история возникновения проекта, характер использования, методы реализации, возможные вырожденные и граничные ситуации. Следует обращать особое внимание 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.

7.7.8. Язык ПЛ/1

ПЛ/1 — многоцелевой язык программирования (1963–1966 гг.). Он в значительной мере объединил средства тогдашнего *Фортрана*, *Алгола 60* и *Кобола*, в результате чего оказался явно перегруженным. Программа имеет блочную структуру; возможно динамическое выделение памяти как при входе в блок, так и по указанию программиста. Имеются встроенная комплексная арифметика, возможность покомпонентных операций над массивами, операции над символьными и битовыми строками. Есть средства указания параллельного выполнения и синхронизации, управления прерываниями и определения реакции на особые ситуации, препроцессорной обработки.

К сожалению, в этом языке имеется много провоцирующих ошибки особенностей. Из-за неоднозначности символа = ошибка в операторе присваивания `A=B=C` вместо `A,B=C` не будет диагностироваться, а приведет к присваиванию переменной `A` нуля или единицы в зависимости от истинности отношения `B=C`. Оператор `X=F(M)` может означать положить `X` равным `M`-му элементу массива `F` или функции `F` от аргумента `M`[4]. Чрезвычайно опасным является изменение правил умолчания в зависимости от того, какие атрибуты указаны явно:

```
DECLARE N        - BINARY FIXED(15,0),
DECLARE N FIXED  - DECIMAL FIXED(5,0),
DECLARE N BINARY - BINARY FLOAT(21).
```

[4]Так же обстоит дело в *Фортране*.

Аналогичные по смыслу конструкции в заголовке цикла и циклическом списке вывода записываются по-разному:

```
DO I=1 TO 10; A(I)=I; END;
PUT LIST ((A(I) DO I=1 TO 10));
```

Кстати, второй пример демонстрирует и небезразличность «лишних» скобок, которые в данном случае обязательны.

Потенциальными источниками ошибок в *ПЛ*-программах являются и такие особенности этого языка, как возможность совмещения нескольких объектов в одном поле памяти (атрибут DEFINED), переменная типа метки и прямой доступ к памяти посредством указателя POINTER. Впрочем, потребности построения сложных структур данных возродили этот прием в ряде новых языков.

Громоздкость и низкая надежность языка *ПЛ/1* определили малое число попыток его реализации на ПЭВМ и усеченный характер таких реализаций.

7.7.9. АПЛ

Интересной попыткой создания языка программирования, специально ориентированного на работу с матрицами, является *АПЛ* (К. Айверсон, 1962 г. — см. [199]). В нем скалярные операции естественно обобщаются на векторно-матричные операнды, причем имеется возможность (вставкой точки перед знаком операции) выполнять операции покомпонентно, а также средства формирования и изменения структуры матричных объектов в процессе вычислений. Каждая из векторных или матричных операций языка *АПЛ* заменяет собой множество операторов *Алгола 60*, включающее циклы, условные переходы и присваивания и в совокупности определяющее, *как* это будет сделано. Язык считается весьма перспективным для суперЭВМ матричного и конвейерного типа. Исходные версии языка рассчитаны на работу со специальной клавиатурой, каждая клавиша которой на нижнем регистре отображает заглавную букву, а на верхнем — какой-либо специальный символ (иногда весьма затейливый). Некоторые символы набираются как наложение двух элементарных.

Операции выполняются справа налево, знаком присваивания служит $\leftarrow$. Крупным недостатком *АПЛ* является его значительный отход от стандартной математической символики, затрудняющий освоение языка

и провоцирующий ошибки при работе с ним. В выражениях умножение обозначается символом $\times$, возведение в степень — посредством *. Операция извлечения квадратного корня заменяется возведением в степень 0.5 (в большинстве систем программирования корень находится специальным, более экономным способом). Обозначения наиболее популярных функций даны в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Стандартные функции *АПЛ*

Выражение	Значение	Выражение	Значение
$!X$	$X!$	$*X$	$\exp(X)$
$\lvert X$	$\lvert X\rvert$	$B \otimes X$	$\log_B(X)$
$\div X$	$1/X$	$\sim X$	отрицание X

Другие функции *АПЛ* набираются еще более экзотическими способами (см. табл. 7.5).

Таблица 7.5. «Тригонометрические» функции *АПЛ*

A	$A \circ B$	$(-A) \circ B$
0	$(1 - B**2)**0.5$	$(1 - B**2)**0.5$
1	$\sin B$	$\arcsin B$
2	$\cos B$	$\arccos B$
3	$\tan B$	$\arctan B$
4	$(1 + B**2)**0.5$	$(-1 + B**2)**0.5$
5	$\sinh B$	arsh B
6	$\cosh B$	arch B
7	$\tanh B$	arth B

Комплексная арифметика в *АПЛ* отсутствует.

Массив задается признаком типа значений, вектором размерностей и совокупностью компонент. Нумерация индексов начинается с нуля или с единицы — выбор определяется системной переменной)ORIGIN. Индексы указываются в квадратных скобках. Так, $P[\ ]$ означает массив в целом (вектор), $P[1112]$ — массив из четырех компонент (трижды первая и один раз вторая компоненты P), $E[2;]$ — вторую строку матрицы E. Операция «перестройки» $V\rho F$, где левый операнд задает размерности, а правый — значения компонент, формирует массив. Например, $3\ 2\ \rho\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6$ даст матрицу

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}.$$

Встроенными операциями над массивами являются переупорядочение по убыванию (возрастанию), инверсия расположения, транспонирование, обращение, конкатенация (склеивание) по любым измерениям. Выражение $,Q$ определяет развертку многомерного массива Q в вектор, а конструктор G,F — конкатенацию массивов G и F.

Подпрограмм в *АПЛ* нет — их заменяют функции. Описание функции двух аргументов A и B выглядит следующим образом:

∇
$C \leftarrow A$ $<$ имя функции $>$ B
$<$ тело функции $>$
∇

Здесь C — имя ответного параметра. Функции можно запомнить и использовать в последующих программах.

7.7.10. 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* — прежде всего принципа строгой типизации. *Паскаль* приобрел 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.

Скалярный подтип может быть определен как поддиапазон другого типа. 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. Булева операция and в *Паскале* рассматривается как операция умножения с высоким приоритетом, тогда как в большинстве языков ее приоритет ниже, чем у операций отношения. Это может спровоцировать ошибки.

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.

7.7.11. Язык C

Язык C был разработан Д. Ричи в 1972 г., на нем была написана операционная система $UNIX$. Он сочетает элементы как языков машинного уровня (адресация аппаратных ресурсов ЭВМ), так и ЯВУ (структуры данных и управляющие структуры). В нем имеется 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 структуры данных (массивы и записи).

В 1980-х гг. Б. Страуструп использовал C как базис для C++, исправив ряд ошибок и добавив поддержку 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.

Весьма 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 `do while` используется как с предусловием, так и с постусловием. В последнем случае `do` предшествует телу цикла, а `while` замыкает его, причем условие дается для *выхода* из цикла (сравните с аналогичными конструкциями *Паскаля*). Цикл `for` в C строится более гибко, чем в других языках программирования; в частности, можно задать перевычисление параметра по закону геометрической прогрессии и дополнительно изменять его в теле цикла. Эти возможности являются потенциальным источником 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 обязательного использования указателей, что усложняет программу и мешает ее восприятию.

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 отсутствуют.

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 типах хотя бы одного параметра. ООП в C допускает множественное наследование.

В языке имеются обработчик исключений и возможности 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.

7.7.12. Форт

Форт — простой и нетребовательный к машинным ресурсам язык программирования, используемый в задачах управления, робототехники, системного программирования и многих других. Он широко применяется во встроенных микроЭВМ. Языковые средства легко расширяются благодаря механизму определения новых «понятий» (подпрограмм) и забывания старых. Поскольку обычной (инфиксной) нотации присущи проблемы старшинства операций и нарушения ассоциативности (возможность переполнения и потери значимости), все *Форт*-операции выполняются над данными из стека, а формулы задаются в польской инверсной записи. Таким образом, решение упомянутых проблем полностью определяет программист.

7.7.13. Модула 2

Modula 2 [38] по уровню занимает промежуточное место между языками *C* и *Паскалем* и является развитием (и отчасти — ограничением) последнего. В нем меньше предопределенных типов, сокращено управление асинхронными процессами, нет управления точностью расчетов, отсутствуют родовые модули, нет аппарата управления исключениями. *Модула* выполняет статический контроль совместимости типов и динамический — допустимости значений переменных. Основными областями его применения считаются [95] разработка операционных систем и трансляторов, а также систем управления промышленными технологическими и научно-экспериментальными установками.

Благодаря наличию средств низкого (машинного) уровня, большей ясности и прозрачности в сравнении с конкурирующими *C* и *Форт*, он считается идеальным языком *системного* программирования для малых и средних машин. *Modula 2* имеет простой механизм сопрограмм для квазипараллельных процессов, развитый аппарат конструирования типов и программных модулей. Для реализации программ достаточны малые ресурсы.

Ключевыми понятиями языка являются *модуль* и *процесс*. Имеются средства определения квазипараллельных процессов (сопрограммы) и параллельной работы с периферийными устройствами. Новый процесс создается вызовом процедуры `newprocess`; передача управления от процесса к процессу организуется процедурой `transfer`.

Средства языка, ориентированные на использование аппаратных возможностей ЭВМ, сосредоточены в стандартном модуле `system`. Он экспортирует типы `word, address, process` и работающие с объектами этих типов процедуры. Здесь можно, в частности, ссылаться на абсолютные адреса оперативной и регистровой памяти.

На вход компилятора можно подавать программные единицы одного из трех видов: основной модуль, модуль определений и модуль реализации. *Основной* модуль есть главная программа, он не может содержать список экспорта. Импортируемые объекты определяются в других, отдельно компилируемых частях программы.

Модуль *определений* включает список экспорта, объявления констант, типов и переменных, спецификации заголовков процедур — иначе говоря, указывает имена и свойства объектов, существенные для их использования в других модулях. Модуль *реализации* содержит локальные объекты и операторы, которые являются его «внутренним делом». Эти два типа модулей образуют пары и могут содержать списки импорта. Все объекты, объявленные в модуле определений, доступны в соответствующем модуле реализации без явного импорта. Модули могут компилироваться раздельно и при необходимости вызываться из библиотек.

Указанные средства позволяют четко специфицировать межмодульный интерфейс, не зависящий от реализации, и делают *Модулу 2* удобным средством разработки сложных программных комплексов.

7.7.14. Ада

В международном конкурсе на создание языка надежного программирования для сложных систем (в том числе систем реального времени с параллельными процессами типа бортовых систем управления военными объектами — кораблями, самолетами, танками, ракетами, снарядами и т. п.). победил язык *Ада*, разработанный во Франции под руководством Ж. Д. Ичбиа и названный в честь первой программистки — сотрудницы Ч. Бэббиджа Ады Августы Лавлейс. В предисловии к языку *Ада* четко декларируется, что он не предназначен для языковых ниш, занимаемых языками *Кобол* и *Фортран*. Язык *Ада* объявлен стандартным в мини-

стерстве обороны США и ряде стран НАТО.

Для названных применений требуются особо надежные и высокоэффективные системы управления. Очень важно максимальное использование проверенных на практике программ при развитии систем и их переносе в новые условия. Характерны также колоссальный диапазон сложности систем управления и особые требования к оперативности обработки данных: система должна успевать реагировать на поведение реальных объектов, движущихся с высокими скоростями.

Дадим краткий обзор особенностей языка *Ада*, повышающих надежность программирования на нем [31].

Язык ориентирован на тщательный контроль программ при компиляции, их оптимизацию, обеспечивает простоту переноса объектных программ. *Ада*-программа состоит из одного или нескольких программных модулей, которые можно компилировать раздельно. *Ада*-модулем могут быть:

- подпрограмма (определяет действия отдельных процессов);
- пакет (определяет часть контекста — совокупность объектов, выбираемых для совместного использования, это аналог класса *Симулы 67* и в какой-то степени общих блоков *Фортрана*); можно использовать пакет определения абстрактных типов данных — только объявления констант, типов и подпрограмм;
- задача (определяет асинхронный процесс);
- родовой модуль (заготовка пакета или подпрограммы с параметрами настройки периода компиляции).

В модулях применяется блочная структура с локальными и глобальными объектами.

Введено новое понятие «пакет-модуль», объединяющее *совокупность* процедур и общих данных для них, что позволяет избирательно ограничивать область действия глобальных переменных. Пакеты можно, например, использовать для введения общей группы типов и данных, группы родственных процедур или внутренних типов и соответствующих операций. Каждая компонента программы состоит из описательной и функциональной частей. Для подпрограмм и модулей предусматривается возможность *настройки* — определения фактических типов параметров. Из программы, написанной на языке *Ада*, можно вызывать любые подпрограммы, записанные на другом языке, если взаимодействие с ними

осуществляется только через параметры. В модулях применяется блочная структура с локальными и глобальными объектами.

В *Аде* имеется пакет `System`, определяющий целевую машину. Посредством спецификаций представления можно уточнить требования к реализации определенных типов на целевой машине (например, указать число используемых байтов) и даже делать вставки машинного кода. В *Аде* управление абсолютным представлением выделено в конструкт, который называется указанием представления (`representation clauses`) и следует за объявлением тех сущностей, к которым относится. Содержательная часть программы целевой машины (абстракция) пишется один раз, а настройка (конкретизация) на специфическое внешнее устройство выполняется в процессе связывания с этим устройством.

В *Аде* 95 появилась поддержка ООП.

Система «адских» типов полнее и строже, чем в *Паскале*. Тип ограничивает область значений, набор операций и ролевые функции (второй операнд, результат и т. п.). Все объекты программы на языке *Ада* должны быть объявлены и отнесены к одному из стандартных или введенных программистом типов. Стандартные типы для чисел могут быть длинными, нормальными или короткими (конкретная длина определяется реализацией). Комплексных переменных в *Аде* нет.

Концепция типа в языке *Ада* дополнена аппаратом подтипов, ограничивающих область допустимых значений с сохранением допустимых операций, и производными типами, наследующими значения и операции предков. Программист может сузить множество значений, определенных для данного типа: поддиапазоны скалярных типов, индексы массивов. Через типы можно задавать абсолютную или относительную погрешность вычислений.

Ради надежности повышена избыточность, способствующая устранению случайных ошибок. Это сколь угодно длинные идентификаторы с допустимыми внутренними подчеркиваниями для разделения образующих эти идентификаторы слов; строгая скобочная структура `loop` — `end loop`, `if` — `end if`; «именованный» `end`, закрывающий тело процедуры; настоятельно рекомендуемая ступенчатая запись.

Допускаются динамические массивы, работа с вырезками и сечениями. Выход за границы контролируется динамически.

Ссылочные типы позволяют с помощью генераторов создавать и связывать объекты *динамически* — в процессе выполнения программы. Строение записей одного типа может зависеть от значений выделенных полей, называемых дискриминантами.

Дополнительную информацию о поведении объекта программы в тех или иных условиях (например, отладочный режим) можно передать компилятору посредством указания, начинающегося с зарезервированного слова `pragma`.

Для управления отображением данных на память машины можно использовать спецификацию представления — указать необходимость упаковки массива, специального расположения элементов записи и т. п.

Оператор присваивания записывается в *Аде* посредством знака `:=`. Переменная и выражение в правой части должны быть одного типа. Запрещена вся смешанная арифметика, но возможны любые *явные* преобразования типов. Значение выражения должно быть совместимым с ограничениями диапазона (индекса). Индекс в *Аде* может иметь произвольный дискретный тип (в том числе булев, символьный и перечислимый).

Циклы в *Аде* строятся только с верхним окончанием. Цикл `for` допустим только с шагом $+1$ или -1.

Формальные параметры процедур специфицируются как входные (`in`), выходные (`out`) или универсальные (`inout`). Параметры процедур могут быть позиционными и именованными (ключевыми). Тип и ограничения каждого из фактических параметров должны соответствовать характеристикам, заданным для формального параметра. Подпрограмма-функция не может иметь побочного эффекта.

Ада предлагает набор инструментов управления параллельными процессами. Корректная синхронизация возможна лишь с помощью *внешних* средств. Основной принцип здесь — монополизация доступа. Если процесс обладает правом пользоваться средством синхронизации, то на время реального пользования среда гарантирует ему монополию на это пользование (в определенной роли). На нижнем уровне это организуется посредством семафоров Дейкстры с операциями «оградить» и «освободить». Для каждого из разделяемых ресурсов заводится свой семафор. Напротив, для организации взаимного общения (и влияния) процессов применяются «сигналы».

Синхронизация и обмен объединяются в одном примитиве — «рандеву». Его должны заказать оба партнера. Внешняя среда принимает эти заказы и приостанавливает партнера, прибывшего первым, до подачи заказа вторым партнером (его прибытия на рандеву). Собственно рандеву состоит в том, что аргументы вызова входа R (из задачи-клиента)

связываются с параметрами процесса-мастера и выполняется тело оператора приема. Асинхронность, механизмы вызова входов и операторы приема (проверяющие выполнение условий запуска задачи), организация «рандеву» могут быть обеспечены как на нескольких, так и на одном процессоре. С каждой задачей связывается приоритет, определяющий очередность ее планирования. Допускается квантование времени для задач одинакового приоритета.

Оператор задержки (`delay`) приостанавливает процесс на заданное время.

Любое нарушение «штатного» функционирования программы рассматривается как *исключительная ситуация*. Примеры исключений:

- нарушение ограничений (выход из диапазона значений или индексов);
- ошибка в числовых расчетах (переполнение, деление на нуль, логарифм или корень из отрицательного числа);
- неправильная компоновка программы (нет нужного модуля);
- нехватка памяти для динамических объектов;
- ошибка синхронизации или взаимодействия.

В конце сегментов *Ады* можно поместить специальные операторы реакции на исключительные ситуации (`exceptions`) и возбуждения исключений.

Для предупреждения тяжелых последствий из-за пропуска символа, закрывающего комментарий, в языке *Ада* конец строки бланка является заключительным символом для комментария.

Компилятор языка *Ада* включает инструмент сборки программ (`make`) с перекомпиляцией измененных модулей, который в других средах программирования является необязательной внешней утилитой.

Язык *Ада* может рассматриваться как «максимальный» современный ЯП, поскольку он в той или иной форме содержит ответы практически на все технологические проблемы. Это основной язык примеров, иллюстрирующих базовые концепции современного программирования в учебнике [82].

Несмотря на техническое совершенство и преимущества опережающей стандартизации, язык *Ада* не достиг большой популярности вне

военных и других крупномасштабных проектов типа коммерческой авиации и железнодорожных перевозок. Язык *Ада* получил репутацию трудного, поскольку он поддерживает многие аспекты программирования (параллелизм, обработку исключительных ситуаций, переносимые числовые данные), которые другие языки оставляют операционной системе. Эта трудность усугубляется недостаточной строгостью описания языка (его авторы были вынуждены в дополнение к описанию выпустить сборник «500 вопросов и ответов»). В этом смысле его существенно превосходит *Алгол* 68, описание которого является образцом строгости (и, к сожалению, неудобочитаемости).

7.7.15. Алгол 68

В расширяемом языке программирования *Алгол 68*:

- можно объявлять переменные внутри циклов и условных выражений, что усиливает эффект локальности;
- ключевые слова выделяются специальным образом;
- четко продумана система парных ключевых слов do – od, if – fi.

Здесь допустимы массивы с динамически изменяемыми границами, вырезки и сечения. Имя может быть косвенным, что облегчает реализацию списковых структур и многое другое. Можно указывать возможность параллельного выполнения операторов. *Стандартное вступление* содержит описание некоторых типов данных, как бы встроенных в язык (строки литер, комплексные числа, строки битов, слоги). В нем содержатся также «запросы к обстановке» (среде реализации), которые позволяют настраивать программу на инструментальную машину. Дополняя стандартное вступление, можно получать специализированные диалекты языка.

В *Алголе* 68 процедуры могут быть данными: их можно передавать в качестве значений, присваивать другим объектам.

7.7.16. Фортран

Алгоритмический язык *Фортран* — первый (1954–1957 гг.) и наиболее распространенный язык, ориентированный на программирование расчетных задач. Название языка образовано из начальных слогов ан-

глийских 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* [83, 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 несколько примеров 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 размерности 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. [166], а также справочник по *Ф90* [118], учебное пособие [12] и входящие в состав системы электронные книги.

Digital Visual Fortran 6.x (Digital Equipment Corp.) 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*, в частности:

- 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 оптимизацию индексирования 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* [172].

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.

Особо отметим инструмент визуализации *массивов*, который позволяет просматривать большие массивы в режиме прокрутки, а также представлять линейные и двумерные массивы в виде поверхностей с «высотной» или «цветовой» модуляцией.

Для суперЭВМ и машин нетрадиционной архитектуры *Фортран* является основным языком программирования. Созданы автоматические векторизующие компиляторы с оптимизацией простых и вложенных DO-циклов (*CFD, VECTRAN*).

7.8. 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 — через более простые.

Для примера приведем программу быстрого возведения в степень на языке *Пролог* [168]. 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 Рособрнадзором 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. Если работа проводится на стыке специальностей, не все из которых разрешены совету, организуется *разовая защита* с привлечением внешних специалистов. Предполагается [88] постепенное сворачивание сети кандидатских советов и (при недостаточном числе докторов в отдельных организациях) — учреждение региональных советов.

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 новизну диссертации, ее теоретическую значимость, достоверность, наличие личного творческого вклада соискателя и практическую полезность результатов *независимо от формы представления диссерта-*

ции, а также указать, в соответствии с какими требованиями пункта 8 Положения оценивалась 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). Содержание 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 (Положением) регламентируется содержание, но не форма этого документа. Следовательно, здесь возможны варианты. Обычно в качестве прототипов используют заключения по ранее утвержденным диссертациям. Эти прототипы зачастую написаны очень путано, с повторами, заимствование схемы их построения снижает впечатление от работы и затягивает заседание совета. Ниже с небольшими сокращениями приводится заключение по утвержденной диссертации, разработанное при активном участии автора.

Проект

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

диссертационного совета ССД 106.30.01 ВИКУ им. А. Ф. Можайского
по диссертации соискателя ученой степени доктора технических наук

ЕФИМОВА Владимира Васильевича,

выполненной на тему

«Теоретические основы нейросетевой обработки данных в бортовых комплексах управления космических аппаратов»

по специальности 20.02.12 —
«Системный анализ, информатика, исследование операций
и моделирование боевых действий и систем военного назначения»

Тематика и основные направления исследований работы соответствуют пунктам (*перечисляются номера*) Перечня приоритетных направлений науки и техники, утвержденного (*кем и когда*).

Исследования проводились в интересах развития главного научного направления перспективного плана НИР ВИКУ им. А. Ф. Можайского «Совершенствование систем управления силами и средствами» и выполнялись в рамках фундаментальных НИР (*следует перечень тем, их заказчиков и дат утверждения*), а также прикладных тем (*аналогичный перечень*).

Цель исследования заключается в повышении автономности бортовых комплексов управления (БКУ) космических аппаратов (КА).

Наиболее существенные результаты диссертации

В области теории соискателем получены следующие результаты:

1. Предложена и обоснована концептуальная модель функционирования КА с нейросетевым обеспечением и поставлена комплексная задача повышения автономности функционирования БКУ.

2. Разработаны теоретические основы нейросетевой обработки данных в БКУ КА, включающие:

   – принципы построения нейросетевого обеспечения повышения автономности БКУ и эффективности применения КА;

   – обобщенные модели нейроподобных элементов и нейронных сетей (НС);

   – метод синтеза НС для решения различных задач комбинаторной оптимизации;

   – метод комплексирования разнотипных НС, а также алгоритмы их обучения;

   – методики исследования качества нейросетевого решения базовых классов задач БКУ.

3. Разработаны методы построения НС для решения задач теории расписаний одностадийных систем обслуживания с аддитивными функционалами качества.

4. Предложены новые методы сортировки данных и решения матричного уравнения Риккати на основе общей оптимизационной постановки этих задач и использования оптимизирующих НС.

Теоретическая ценность полученных результатов заключается в *комплексном подходе* к повышению автономности функционирования перспективных КА и в развивающих теорию НС *методах построения* НС-обеспечения БКУ.

В прикладной области соискателем получены следующие результаты.

1. Разработаны структура и состав НС-обеспечения БКУ перспективных КА повышенной автономности для решения задач:
   - оперативного планирования работы целевой аппаратуры по критерию максимальной эффективности;
   - диагностирования бортового оборудования КА;
   - адаптивного управления оперативной переориентацией и угловой стабилизацией КА;
   - минимизации потерь в бортовой системе электроснабжения путем оптимального токораспределения в многомодульном стабилизаторе напряжения.
2. Создан комплекс программ моделирования БКУ КА, статистического исследования показателей его автономности и эффективности применения с определением вклада в них НС-обеспечения.
3. Предложены конкретные схемотехнические решения построения НС и адаптивных систем управления, защищенные 14 авторскими свидетельствами на изобретения и патентами.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что реализация разработанных компонент НС-обеспечения БКУ позволяет на 20% увеличить длительность интервала автономного функционирования БКУ и сократить задержку получения информации с борта не менее чем на период обращения КА.

Все полученные результаты являются **новыми**. Абсолютное большинство из них получено соискателем **лично**. Отдельные результаты получены в соавторстве (*перечисляются эти результаты и соавторы, выделяется вклад учеников соискателя*).

Достоверность результатов работы подтверждается:

- полнотой и обстоятельностью анализа современного состояния исследований в предметной области;

- корректностью выбора исходных допущений и ограничений при постановке научных задач;
- достаточной адекватностью используемых математических моделей исследуемым процессам функционирования БКУ и КА в целом;
- строгостью использования современного теоретического аппарата при формализации исследуемой проблемы и ее решении;
- совпадением результатов решения отдельных задач (например, частной задачи управления угловым движением КА на основе нейросетевой обработки и штатного алгоритма управления);
- публикацией и апробацией основных положений работы на международном, всероссийском и отраслевом уровнях, положительным эффектом их использования рядом научно-исследовательских, промышленных и заказывающих организаций, а также наличием авторских свидетельств на изобретения в области исследований.

Результаты работы реализованы: (*перечисляются организации с указанием, что где внедрено*). Внедрение и использование диссертационной работы подтверждены семью актами.

Рекомендации по использованию результатов. Научные результаты исследований и практические рекомендации в дальнейшем могут быть использованы:

- в научных организациях и организациях оборонных отраслей промышленности и МО РФ при исследовании процессов функционирования существующих КА и их БКУ, обосновании направлений их совершенствования, формировании ТТТ и ТТЗ на разработку и создание БКУ перспективных КА (*перечисляются организации*);
- в проектно-конструкторских организациях на этапе проектирования облика БКУ КА, бортового НС-обеспечения, его аппаратных и программных средств (*перечисляются организации*);
- в высших учебных заведениях при постановке дисциплин, связанных с вопросами автономного управления объектами космической техники, методами решения трудоемких задач параллельной обработки данных и новыми информационными технологиями (*перечисляются вузы*).

Направления дальнейших исследований. Совет считает целесообразным дальнейшие исследования в рамках рассматриваемой в работе проблематики проводить по следующим направлениям.

В области **теории**:

1) разработка моделей представления и способов получения знаний о нештатных ситуациях в реальных условиях эксплуатации КА;

2) развитие методов синтеза НС на основе принципа «сеть строит сеть»;

3) исследование надежности НС-обеспечения БКУ КА.

В **прикладной** области:

1) развитие и детализация методик построения, обучения и испытания НС с более полным учетом фактически возникающих ситуаций;

2) построение программных комплексов имитационного моделирования разрабатываемых нейросетевых БКУ;

3) испытание предложенных методов на реальной аппаратной базе.

Общая оценка диссертации

Отмеченные при обсуждении, в отзывах на диссертацию ведущей организации и официальных оппонентов, а также в отзывах на автореферат недостатки и замечания справедливы и в некоторой степени снижают научную и практическую ценность выполненной работы, но не изменяют в целом положительной оценки диссертации.

Диссертационный совет ССД 106.30.01 считает, что диссертация ЕФИМОВА В. В. является *законченной* научно-исследовательской работой, выполненной на *актуальную* тему, содержащей *решение крупной научной проблемы* разработки теоретических основ НС-обработки данных в БКУ КА для повышения автономности и эффективности их целевого применения, имеющей *важное оборонное значение*, и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени *доктора технических наук*.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ССД 106.30.01
доктор технических наук профессор
подпись

СЕКРЕТАРЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ССД 106.30.01
кандидат технических наук доцент
подпись

Дефектами приведенного проекта заключения являются недостаточная развитость раздела о теоретической ценности (хотелось бы видеть перечень новых задач, которые могут быть решены на основе предложений соискателя) и в особенности неконкретность большинства пунктов раздела о достоверности:

полнота — можно было бы назвать количество проанализированных источников и перечислить аспекты анализа;

адекватность — показать, что учет дополнительных факторов (каких?) не влияет на выводы;

строгость — сообщить, какой математический аппарат и программные средства использовались; указать число проведенных имитационных испытаний, точность и надежность полученных оценок;

публикации — назвать их количество по каждому из уровней.

В Бюллетене ВАК № 5, 2005 г. как общий недостаток Заключений отмечаются их формальность и инвариантность к теме и содержанию диссертации: не раскрыты суть новых концепций и критериев, обоснованность математического аппарата, новизна и достоверность, полезность, личный вклад соискателя.

Некоторые общие рекомендации:

1. Наименование специальности, по которой выполнена работа, нужно сверить с паспортом специальности на дату защиты.

2. Раздел общей оценки корректируется с учетом отрасли наук, характера работы и степени, на которую претендует соискатель (в нем должна *буквально* цитироваться формулировка соответствующего пункта первого классификационного признака для этой степени).

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 два (по докторской — за четыре) 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.

За соображением о том, что публиковать надо только эпохальные работы, обычно скрываются элементарная лень и научная импотенция [47, с. 44]. Здесь нельзя не сослаться на А. С. Пушкина:

A son amant Eglé sans resistance
Avait cedé — mais lui pâle et perclus
Se déménait — enfin n'en pouvant plus
Tout essouflé tira ... sa révérance, —
«Monsier, — Eglé d'un ton plein d'arrogance,
Parler, Monsier: pourquoi donc mon aspect
Vous glace-t-il? m'en direz vous la cause?
Est-ce dégoût?» — Mon Dieu, c'est autre chose. —
«Excès d'amour?» — Non, excès de respect.

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 соавторства с диссертантами.

Наиболее авторитетны публикации в научных журналах[1]. Перечень «зачетных» зарубежных журналов выставлен на сайте ВАК. Хотя бы одна публикация в таких журналах требуется и по кандидатской диссертации. К публикациям в них предъявляются наиболее высокие требования. Эти требования по содержанию эквивалентны требованиям к диссертациям — разумеется, с учетом характера журнала (теоретический, экспериментальный, методический), его специализации и ограниченного объема статьи (как правило, не более половины авторского листа).

[1]Последняя версия списка изданий, рекомендуемых для публикации результатов диссертаций, помещена в Бюллетене ВАК № 1 за 2007 г. «Докторские» журналы выделены в нем звездочками.

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*». Впрочем, у медиков свои традиции.

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», математические выкладки быстро ведут к цели, четко обозначены связи с реальными задачами. Трудоемкие выкладки 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. *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. Статью принимают, если к ней нельзя придраться. Поэтому важно знать типичные основания для отклонения: слабость мотивации (актуальности) и вклада; отсутствие сопоставления с известными источниками; формальные ошибки; низкий литературный уровень; список литературы убог и содержит ссылки преимущественно на собственные работы. Бессмысленно писать, что результат абсолютно новый: рецензент сочтет, что либо автор не знает литературы в предметной области, либо задача никому не интересна.

Если автор ссылается на публикации из атакуемого им журнала, редколлегия скорее всего пошлет ее на рецензию тем, на кого ссылается автор. Поэтому критиковать своих предшественников нужно осторожно, воздав должное их вкладу в решение проблемы.

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, отражающим основные результаты диссертации, 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*.

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 и оценку результата; 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.

Информация об открытой диссертации, принятой к защите (автор, название, шифр специальности, текст автореферата, место и дата защиты), минимум за месяц выставляется по кандидатской диссертации на сайте организации, при которой функционирует совет, а по докторской на сайте ВАК.

8.3. Итоговый 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.

Итоговый семинар посвящается работе в целом, является генеральной репетицией защиты и отличается от текущих рядом особенностей:

- проводится в расширенном составе с обязательным присутствием докторов наук — членов диссертационного совета по избранной специальности;
- 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)[2] плакатов формата а0 — пока в черновом виде.

[2]Зависит от традиций совета, принимающего работу.

К этому дню соискатель при участии руководителя (консультанта) должен подготовить полный текст диссертации и автореферата, проект заключения совета и заручиться согласием предполагаемых официальных оппонентов и ведущего предприятия.

Обретение оппонентов — это самостоятельная и очень важная подпроблема защиты диссертации. Не все соискатели своевременно над ней задумываются: автору приходилось слышать от соискателя на *его расширенном семинаре* вопрос о том, откуда берутся оппоненты. Ответ пришлось дать в форме контрвопроса: «А откуда дети берутся, ты знаешь?». 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 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 собственных усилий к решению проблемы оппонентов, не перекладывая ее целиком на плечи руководителя.

Диссертационный фольклор отмечает, что оппонент должен иметь представление о предмете (иначе не за то похвалит), но не быть узким специалистом по нему (возможны неприятности). Экспертные советы отслеживают случаи «перекрестного опыления» («я твоему — ты моему»). Рискованно приглашать в оппоненты молодых докторов, нуждающихся в самоутверждении. Да и вообще «к старости мы делаемся если не добрее, то ленивее» [48]. Не нужно гнаться за оппонентами-«звездами»: они сильно заняты; вследствие преклонного возраста неохотно берутся за оппонирование (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 не покрывает затраченных усилий. Поэтому соискатель должен быть готов к их отработке — написанием отзывов по просьбе своих оппонентов в дальнейшем.

Официальные оппоненты должны быть представителями различных организаций. По докторской диссертации только один из них мо-

жет 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.

В качестве ведущего предприятия следует выбирать одну из головных организаций отрасли (НИИ, проектный институт, КБ и т. п.), близких к направлению работы и имеющих деловые и личные связи с вашей организацией.

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.

В докладе следует говорить о том, *чего удалось добиться*, и в минимальной степени — *как*. Особо подчеркиваются элементы новизны, достоверности, теоретической и практической значимости, отражаемые в проекте заключения совета.

Плакаты должны содержать лишь тот материал, на который будут сделаны ссылки при докладе (с небольшим запасом под наиболее вероятные вопросы). 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 [114, 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 с *комплексной* проблемой, надо привести *общую схему* последней с выделением контуром, цветом или штриховкой *вклада диссертанта*. При значительном сходстве нескольких решенных задач на плакаты выносится одна из них, а остальные перечисляются. Совершенно обязательны плакаты, иллюстрирующие преимущества предложений докладчика (полезный эффект) в сравнении с ранее достигнутыми показателями.

Нельзя читать содержимое плакатов: нужно говорить, *о чем они*.

В решении семинара должны быть отражены все пункты, по которым будет составляться заключение совета. Среди них особо отметим: специальность, которой соответствует диссертация; полноту изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем; возможность защиты докторской диссертации в виде научного доклада (по желанию соискателя); предполагаемые оппоненты и ведущее предприятие.

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[3]). Семинар, помимо психологической тренировки, дает возможность понять, как выглядит диссертация со стороны, уяснить и скорректировать слабые места. Очень ценны 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 необходимо 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.

[3]Относительно поведения на семинарах напомним рекомендации из разд. 3.5.

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 литературных и других источников». *Автореферат диссертации* является одним из ключевых элементов диссертационного дела. Именно по автореферату научная общественность вынуждена оценивать эрудицию, одаренность, культуру 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.

Автореферат состоит из введения, обзора основного 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). 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). К сожалению, при этом типична формулировка «Опубликовано

8 тезисов докладов» — вместо «тезисы 8 докладов».

В автореферат нельзя вставлять ссылки на работы соискателя, не вышедшие из печати, а также добавлять данные или принципиально важные рассуждения, которых не было в диссертации. Оппоненты обязаны высказаться относительно соответствия автореферата полному тексту диссертации.

Типичными дефектами авторефератов являются нехватка конкретики по новизне, перегрузка стандартными общими схемами исследования и тривиальными соображениями [86].

В расчет рассылки автореферата включаются: обязательные экземпляры по списку библиотек — см. [99]; библиотека по месту защиты; организации, в которых работают оппоненты; ведущее предприятие; ВАК и заинтересованные организации, дающие отзывы; персонально — несколько крупных специалистов. Нормой считается получение отзывов примерно на десяток авторефератов. В конверт с авторефератом полезно вложить записку руководителя или другого авторитетного знакомого 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 своевре-

[4]ВАК остро реагирует на тождественность отзывов — Бюлл. № 3, 2006 г.

менной 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.

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 ([48], 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 и не связанные с темой диссертации; работы по докторской диссертации опубликованы в недостаточно солидных изданиях (не входящих в перечень).

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 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 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».

Оставшиеся 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 основные результаты 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.

8.6.3. Организация защиты

Соискатель должен *лично* озаботиться обеспечением кворума. Необходимо также иметь «оруженосцев» для решения оперативных проблем (дефект магнитофона, нет проектора, нехватает стульев, некому встретить гостей и заняться их документами). Прогон слайдов и электронных презентаций нужно отрепетировать, исключить случаи перепутывания и переворачивания слайдов. Полезно обеспечить членов совета буклетами с уменьшенными копиями плакатов. 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. Последние могут быть изготовлены с помощью компьютерных технологий (в частности, посредством *Visio* — см. разд. 6.10).

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 соискателя и выявления элементов новизны. По итогам репетиции типичны следующие замечания:

- полученные 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 части 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 научную зрелость и серьезность декларируемых намерений продолжить научную работу после защиты диссертации.

8.8. Защита

В современных условиях можно «заказать» научную часть диссертации. Но *квалификацию* не закажешь. ВАК [87] считает первоочередной задачей диссертационных и экспертных советов проверить квалификацию кандидата в ученые .

Глубоко ошибочна точка зрения [16, 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. Соискатель, защищающий диссертацию в совете, членом которого он является, не участвует в голосовании по итогам своей защиты и в списочном составе членов совета на данном заседании не учитывается.

Необходимо участие в защите не менее трех (по кандидатской — двух) докторов наук по каждой из специальностей диссертации. Защита возможна без 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 хорошо выспаться и не иметь лишних хлопот по организации защиты.

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

[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.

чулки» (в фигуральном смысле) не обязательны; она должна 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 перечислять членов совета, внесших вклад в решение проблемы: достаточно ссылок в тексте работы.

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* получения результатов совету неинтересна.

Относительно поведения соискателя в ходе *дискуссии* мы вновь сошлемся на разд. 3.5. 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 и т. п. Именно этим критерием руководствуются члены докторских диссертационных советов, не являющиеся специалистами по профилю работы (таких всегда — большинство).

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.

Нельзя перегибать с *режиссурой* дискуссии. 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 научно-

го 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 [173, 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 внимание и заверяет, что обязательно учтет их замечания в своей дальнейшей работе. Будет справедливо также поблагодарить научного руководителя, консультантов и взрастивший диссертанта коллектив.

Если совет считает, что диссертация, представленная на соискание кадидатской 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.

При положительном решении совета в 30-дневный срок после защиты в Федеральную службу по надзору в сфере образования и науки направляется первый экземпляр диссертационного дела (в случае докторской защиты — и первый экземпляр диссертации).

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. Фактически отрицательными считаются и отзывы с выводом «...может быть представлена к защите». 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 экспертизу.

Содержание и тон выступлений официальных и неофициальных оппонентов могут дать основания для неблагоприятного прогноза. Соискатель вправе снять работу с защиты по письменному заявлению, поданному *до начала тайного голосования*. Тогда материалы дела в ВАК не направляются, и он сможет снова защищать доработанную диссертацию по готовности.

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 ясных 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*: непродуманный выбор темы, неудачное название, отсутствие новизны, незавершенность работы, ее описательность, низкий научный и методический уровень, ошибки в математическом аппарате, 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 их советам объявлены замечания).

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 и выходить на защиту, имея испорченную репутацию.

На решение ВАК по кандидатской работе в двухмесячный срок может быть подана *апелляция*, которая рассматривается с учетом заключения экспертного совета и членов ВАК — специалистов по соответствующим наукам. Решение по апелляции считается окончательным.

Поскольку все докторские диссертации проходят тщательный контроль, подача апелляций по их защитам не предусмотрена.

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» [114, 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 ничем не ограничен, 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 (Герц, Коперник, Фарадей) вели дневники, записи которых вводят в их творческую лабораторию. По Сенеке [176, 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 подчеркнуты 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; однако ограничения подобного рода неизбежны при любой предметной области.

По словам Г. Харди [198, 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).

9.1. Школьные годы

В послевоенной ленинградской школе (никаких «спец», гимназий и лицеев тогда не существовало) было прекрасно поставлено преподавание многих дисциплин.

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 которой 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» увлечений и успехов на олимпиадах.

9.2. Военно-морское училище

Высшему военно-морскому училищу инженеров оружия (давно расформированному) я благодарен 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 (в основном зарубежную классику и поэзию «серебряного века»). Со временем удалось почувствовать, что главное в литературе — не *что*, а *как*. Будучи на пятом курсе, я открыл для себя *японскую* классическую поэзию.

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 [145, с. 93]: «Теория вероятностей — это не наука, а мировоззрение. Когда человек по-настоящему овладевает вероятностными методами, у него формируется особый подход к действительности, особая точка зрения на все происходящее».

Один из преподавателей часто говаривал: «Не нужно быть Эйлером, чтобы ...». Аббревиатуру НОК (научное общество курсантов) мы расшифровывали как давнюю мечту — «Новые Одноярусные Койки», однако я все же получил премию за реферат по методу гармонического баланса.

Поскольку мы должны были стать первым выпуском инженерного факультета училища (уже севастопольского) 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 вероятности, 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, временно 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 Морза и Кимбелла «Методы исследования операций».

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 [186, 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.

Лучшие умы были брошены на устранение возникшего противоречия. Я предложил вместо изготовления графиков пересадить кубическую шкалу *логарифмической линейки* на ее движок, а на обратную сторону линейки для типовых целей поместить таблицу начальных установок движка для заряда единичной мощности. Эта идея произвела сенсацию, а автор из прикомандированного инженера превратился в штатного младшего 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.

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 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 мино-ракету была успешно защищена. Тут я понял, что не боги горшки обжигают.

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?»). 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 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, 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* (сорок пять лет спустя) я солидарен с этой оценкой трудоемкости[1] 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*.

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.

[1] Для профессора.

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 [180] 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 — акад. О. А. Ладыженская. Светлая память им обоим!

В смутный период выбора темы диссертации опять же из Москвы, но от другого начальства, поступила команда оценить возможности 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 [49, 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. В них удивительно хорошо работалось, и я был искренне согласен с аббатом Жеромом 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).

Попутно отмечу, 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.

С болгарским языком проблем не было вообще: всем известно, что «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 (часть этих результатов опубликована в [169]).

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, попросил оценить

попутно 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 [169]).

В это время стали интенсивно публиковаться работы по расчету немарковских одноканальных систем — с распределением длительности, 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 результаты по уровню и объему выглядели достаточно солидно, чтобы 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 легла в основу докторской диссертации. К тому времени вышли переводы уже известных мне книг зарубежных авторов, так что убеждать в пользе этой теории никого не пришлось.

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. [169]) у меня особое отношение. 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 нехватает только уверенности в себе, «на длинную веревку». Это правило я применяю и при научном руководстве.

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 изготовить стенд — карту России с лампочками в местах ссылок Ильича,

я не выдержал и на факультетском собрании заявил с трибуны, 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. Законы сохранения

В 1972 г. мне было приказано организовать и возглавить кафедру математического обеспечения ЭВМ. Одной из первых акций коллектива было празднование 60-летия вошедшего в его состав Х. Л. Смолицкого. Юбиляра приветствовали Ленинградское математическое общество, Университет, ЛОМИ; пришло поздравление от старого 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.

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» [51] 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. Кед-

рова в сборнике [128, с. 50]: «Нередки случаи, когда великие открытия[2] 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 позиций 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 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;
- устремления Δt к нулю для 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:

[2] Извините, но из цитаты слова не выкинешь.

распределение числа заявок, прибывших за время ожидания начала обслуживания, совпадает с распределением длины очереди перед прибытием заявки.

Оказывается, что 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

$$P(1 - s/\lambda) = \int_0^{\infty} e^{-st} w(t)\, dt. \tag{9.6.1}$$

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* выводится в две строки [161, 169].

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 [160], а также для компактного расчета систем $GI/E_k/1$ и $E_k/G/1$.

9.6.2. 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 (4.1.1). 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 $\{q_j\}$ [161]. 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 или 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 эту задачу использованием ДФР распределения Вейбулла с поправочным многочленом, причем распределение Вейбулла подбирается по двум моментам решением системы из двух нелинейных уравнений, а коэффициенты поправочного многочлена — решением системы линейных уравнений. Стало ясно, что таким способом можно найти поправочный многочлен и для гамма-плотности. Результаты, естественно, совпадали. Это избавило от преподавания непростой теории ортогональных многочленов Лагерра.

Программные реализации всех этих методов я разрабатывал самостоятельно, что отнимало много времени и сил и требовало бессонных ночей на машинах ЕС. Иногда отладка не шла категорически, и в поисках свежей точки зрения на ситуацию приходилось прибегать к помощи коллег (Е. Е. Сергеева, Н. Х. Кушнер). Перед каждым таким обращением приходилось концентрировать признаки ситуации, возможные гипотезы и их следствия. Примерно в половине случаев я сам завершал рассказ. . . точным и впоследствии подтверждавшимся диагнозом.

9.6.3. 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). Его пришлось доработать в указанных направлениях. В частности, начальные приближения оказалось целесообразным определять из предельного случая (большое число j заявок в системе, когда матрицы интенсивностей переходов перестают зависеть от j). Соответственно изменились расчетные формулы и рекомендуемое направление прогонки — от бóльших j к меньшим. Метод был применен и к 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, име-

ющих 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 используется 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 программирования на машинах с минимальными 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.

В 1987 г. текущая версия МОСТа была передана в Государственный фонд алгоритмов и программ СССР (г. Таллинн). По справке Фонда, уже в 1988 г. она эксплуатировалась более чем в 30 организациях.

9.6.4. 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 метода матрично-геометрической прогрессии. 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. Последний находится из *матричного* квадратного уравнения

$$R^2B - RD + A = 0, \tag{9.6.2}$$

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. Решение этого уравнения согласно [75] 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 (9.6.2) в виде

$$(R + \Delta)(R + \Delta)B - (R + \Delta)D + A = 0$$

и, пренебрегая квадратом поправки Δ, записать матричное уравнение

$$\Delta(RB - D) + R\Delta B \approx RD - R^2B - A, \tag{9.6.3}$$

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. Вполне можно было додуматься самостоятельно! Обобщение этой идеи на случай (9.6.3) 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 объясняется вполне естественно: фактически был реализован метод Ньютона, обладающий квадратичной сходимостью.

9.6.5. Гиперэкспоненциальная аппроксимация

Появление в теории очередей возможности расчета многоканальных немарковских систем было настоящим прорывом. Однако эрлангов-ское 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:

$$b(t) = \sum_{i=1}^{k} y_i \mu_i e^{-\mu_i t}. \tag{9.6.4}$$

Это распределение для $k = 2$ позволяло выравнивать три момента и подбиралось сравнительно легко, но в ряде случаев приводило к комплексным 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 (7.3.1) показало, что $\alpha = 1$ и $\alpha = 2$ являются особыми случаями[3], 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

[3]Последовательную систему фаз нельзя свести к параллельной.

хорошее согласие (см. с. 203). 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», разумеется, 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 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.

9.6.6. 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

$$\bar{F}(t) = \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t), \tag{9.6.5}$$

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 (9.6.5) 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 (9.6.5) следует заменить на

$$\bar{F}(t) = \frac{\lambda_1}{\Lambda}\bar{F}_1(t)\bar{\Phi}_2(t) + \frac{\lambda_2}{\Lambda}\bar{F}_2(t)\bar{\Phi}_1(t). \tag{9.6.6}$$

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.

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 в практических случаях 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. 364). Были введены *коэффициенты немарковости* распределений

$$\xi_k = f_k/f_1^k - k!, \qquad k = 2, 3, \ldots, \tag{9.6.7}$$

которые для показательного закона (с марковским свойством) тождественно равны нулю. Расчеты подтвердили предельные теоремы (и теорему Берке о выходящем потоке марковской системы) — коэффициенты немарковости действительно стремились к нулю; стало возможным наблюдать и оценивать *скорость сходимости*.

При численных расчетах *преобразования потоков в узлах* была замечена чрезвычайно близкая 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, к тому времени уже профессором, А. Д. Хомоненко. 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).

9.6.7. 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 немарков-

ских входящих потоков я пробовал множество разных подходов, преимущественно основанных на разных аппроксимациях ядра интегрального уравнения Фредгольма первого рода вида (9.6.1) — следствия закона сохранения стационарной очереди. Однако лучшим оказался вариант, использующий вышеупомянутые коэффициенты немарковости. Приведем поучительную схему его обоснования [164].

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 произвольные распределение интервалов между заявками и число каналов. Для расчета искомых моментов было предложено по средней длине виртуальной очереди с помощью формулы Литтла вычислять первый из них, а высшие вычислять через коэффициенты немарковости посредством обращенной формулы (9.6.7).

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. 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.

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 выполнить 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 и желудочные 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 самонадеянную молодежь, норовящую передать свой труд 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 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 (*Visual Fortran*), требующей впятеро большей дисковой памяти.

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 [169]. 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 [160] и соответствующий раздел [169] по сложности вывода и конструктивности результатов). С

учетом опыта предперестроечных лет были переписаны и экономические разделы.

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 одноканальной приоритетной системы, причем для вторых моментов пять источников приводили различные формулы. С помощью имитационного моделирования удалось выбрать правильную (в книге Джейсуола). 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 и разработать метод и программу анализа «дважды коксовой» системы обслуживания.

9.9. Информатика и науковедение

В конце 1990-х гг. мне поручили постановку курса информатики. Было естественно включить в него современный инструментарий научно-технической работы: новый *Фортран* [166, 172]; пакеты прикладных программ для решения математических задач [167]; базы данных; интеллектуальные пакеты типа TK Solver; средства вычерчивания схем [168] и набора математических рукописей [165]. 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 [170]. Готовя ее расширен-

ное издание, лежащее сейчас перед вами, я обнаружил — еще находка для психиатра! — что писал свою научную автобиографию, *как и Эйнштейн* [152, с. 74], на 68-м году жизни. Наверное, это самый подходящий возраст «собирать камни» — в смысле «мысли». Кроме того, выяснилось [81, с. 237], что «чересчур прямолинейные высказывания, которые в обществе принято называть нетактичными», были характерны и для *Резерфорда*.

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 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. Будьте готовы к смене направления работы. Наука наших дней делает неизбежной перемену в предмете, методах, целях деятельности ученых и научных коллективов. Автору последовательно пришлось 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!*[4]: 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 [81, с. 231–232] считал, что ученого следует оценивать по стремлению и умению искать простое решение.

4. 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).

5. Доводите до конца *своими руками* решение каждой задачи, включая расчеты, графики 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).

6. Сами оформляйте материалы публикаций (исключая особо объемные работы — при наличии квалифицированных помощников). Такая «самодеятельность» обеспечит минимум вкравшихся ошибок. Увидеть красивую работу красиво оформленной вам поможет издательская система LaTeX — см. разд. 6.2 и [92, 110, 165]. Автор набрал в ней свыше 10 книг, в том числе [166, 167, 168, 169], и заверяет, что освоиться с этой замечательной и не стареющей системой можно за неделю.

7. Время от времени сопоставляйте свои результаты и возможности с требованиями текущего момента.

[4] Делай это проще, дурень!

Литература

1. *Адамар Ж.* Исследование психологии процесса изобретения в области математики /Пер. с франц. — М.: Советское радио, 1970. — 152 с.
2. *Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: 1976.
3. Агни Йога. — тт. 1–6. — М.: Русский Духовный центр, 1992.
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. *Альтшуллер Г. С.* Найти идею. — Новосибирск: Наука, 1986. — 209 с.
8. *Андреев А. В.* Физики не шутят. Страницы социальной истории НИИ физики при МГУ. М.: Прогресс-Традиция, 2000. — 320 с.
9. *Аристова М. В., Веселков Ф. С., Горшков В. В.* В помощь соискателю ученой степени. СПб.: Гос. инженерно-экономическая академия, 1999. — 66 с.
10. Афоризмы. — Л.: Лениздат, 1964. — 212 с.
11. *Баррон Д.* Введение в языки программирования /Пер. с англ. — М.: Мир, 1980. — 190 с.
12. *Бартеньев О. В.* Современный Фортран. — М.: Диалог-МИФИ, 1998. — 397 с.
13. *Батько Б. М.* Соискателю ученой степени. Практические рекомендации (от диссертации до аттестационного дела). — М.: СИП РИА, 2000. — 212 с.
14. *Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М.* Численные методы. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. — 624 с.
15. *Белицкий В. И.* Как работать над кандидатской диссертацией. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1988. — 37 с.
16. *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.
17. *Бельчиков Ю. А., Кохтев Н. Н.* Лектору о слове. — М.: Знание, 1973. — 104 с.
18. *Бехтерева Н. П.* Здоровый и больной мозг человека. — Л.: Наука, 1980. — 208 с.
19. *Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.* Мозг, разум и поведение /Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 248 с.
20. *Богумирский Б. С.* Руководство пользователя ПЭВМ, в двух частях. — СПб.: Ассоциация OILCO, 1992.

21. *Бониц М.* Научные исследования и научная информация /Пер. с нем. — М.: Наука, 1987. — 155 с.

22. *Борн М.* Моя жизнь и взгляды /Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1973. — 176 с.

23. *Бородина В. А., Бородин С. М.* Учим...читать: Уроки динамического чтения. — Л.: Лениздат, 1985. — 192 с.

24. *Бургин М. С., Кузнецов В. И.* Введение в современную точную методологию науки. — М.: АО «Аспект-пресс», 1994. — 303 с.

25. *Бурдин К. С., Веселов П. В.* Как оформить научную работу. — М.: Высшая школа, 1973. — 152 с.

26. *Быков В. В.* Методы науки. — М.: Наука, 1974. — 215 с.

27. *Быков В. В.* Научный эксперимент. — М.: Наука, 1989. — 175 с.

28. *Вадзинский Р. Н.* Справочник по вероятностным распределениям. — СПб.: Наука, 2001. — 295 с.

29. *Валуева А. А.* Методика подготовки рукописи научной работы: Указатель книг и статей, 1975–1981 гг. — М.: ГБЛ, 1982. — 21 с.

30. Введение в социологию науки: Учеб. пособие. — СПб.: Ун-т экономики и финансов, 1993. — 152 с.

31. *Вегнер П.* Программирование на языке Ада /Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 240 с.

32. *Веников В. А.* О моделировании. — М.: Знание, 1974. — 63 с.

33. *Вентцель Е. С.* Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 551 с.

34. *Венц А.* Профессия — программист. — Ростов н/Д: Феникс, 1999. — 384 с.

35. *Вернадский В. И.* Размышления натуралиста. Кн. 2. Научная мысль как планетарное явление. — М.: Наука, 1977. — 191 с.

36. *Вернадский В. И.* Начало и вечность жизни. — М.: Советская Россия, 1989. — 703 с.

37. *Визгин В. П.* Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. — М.: Наука, 1972. — 240 с.

38. *Вирт Н.* Программирование на языке Модула-2 /Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 222 с.

39. *Воблый К. Г.* Организация труда научных работников. — Киев: АН УССР, 1949. — 198 с.

40. *Водопьянова Е. В.* Проблемы технологии научной деятельности. — Томск: Изд-во ТГУ, 1994. — 97 с.

41. Вопросы организации работы с аспирантами в инженерном вузе: Сб. статей. — М.: МИФИ, 1982. — 124 с.

42. *Воробьев Е. М.* Введение в систему «Математика»: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 1998. — 262 с.

43. В поисках нового мировидения. И. Пригожин, Е. и Н. Рерихи. — М.: Знание, 1991. — 64 с.

44. *Гетманова А. Д.* Учебник по логике. — М.: ЧеРо, 1997. — 304 с.

45. *Гетманова А. Д.* Логика. Словарь и задачник: Учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Изд. центр ВЛАДОС, 1998. — 336 с.

46. *Гиндикин С. Г.* Рассказы о физиках и математиках. — М.: МЦНМО, 2001. — 448 с.

47. *Гитис Э. И.* Как работать над диссертацией по техническим наукам. — Пенза: 1986. — 84 с.

48. *Глухов В. В.* Подготовка и проведение защиты диссертации: рекомендации для соискателей ученых степеней. — СПб.: Изд-во ГТУ, 2000. — 47 с.

49. *Гнеденко Б. В.* О математике. — М.: 2000. — 208 с.

50. *Гордеев О. И., Ильин Л. А.* Основы научных исследований: Учеб. пособие, ч. 3–4. — Новосибирск: 1995. — 149 с.

51. *Городецкий В. И., Рыжиков Ю. И.* Математическое программирование и массовое обслуживание: Учеб. пособие. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1975. — 182 с.

52. *Гостев А. А.* Образная сфера человека. — М.: 1992. — 164 с.

53. *Грановская Р. М., Березная И. Я.* Интуиция и искусственный интеллект. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. — 269 с.

54. *Григорьев Б. В.* Классическая логика: Учеб. пособие. — М.: Изд. центр ВЛАДОС, 1996. — 192 с.

55. *Грицаенко И. А.,Клименко С. В.* LaTeX. Руководство для пользователей. — Протвино: ИФВЭ, 1997. — 162 с.

56. *Гуссенс М., Миттельбах Ф., Самарин А.* Путеводитель по пакету LaTeX /Пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 606 с.

57. *Гуссенс М., Ратц С., Миттельбах Ф.* Путеводитель по пакету LaTeX и его графическим расширениям /Пер. с англ. — М.: Мир, 2002. — 621 с.

58. *Дал У., Мюрхауг Б., Нюгорд К.* Симула-67. Универсальный язык программирования /Пер. с англ. — М.: Мир, 1969. — 100 с.

59. *Данилов И. Я.* Справочник автора книги. — М.: 1966. — 319 с.

60. *Данилов Ю. А.* Джон фон Нейман. — М.: Знание, 1981. — 64 с.

61. *Диксон П.* Фабрики мысли /Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1976. — 451 с.

62. *Добров Г. М.* Наука о науке. — Киев: Наукова думка, 1989. — 304 с.

63. *Долгов А. И.* Изложение научных результатов в диссертации. — Калинин: ВА ПВО, 1995. — 48 с.

64. *Дьяконов В. П., Абраменкова И. Р.* Mathcad 7 в математике, физике и Интернете. — М.: Нолидж, 1999. — 346 с.

65. *Дьяконов В. П.* Системы символьной математики Mathematica 2 и Mathematica 3. — М.: СК пресс, 1998. — 328 с.

66. *Дьяконов В. П.* Справочник по системе символьной математики Derive. — М.: СК пресс, 1998. — 256 с.

67. *Евсеев В. С.* Подготовка и защита диссертации: справочно-методическое пособие. — СПб.: Политехника, 1991. — 304 с.

68. *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.

69. *Журавлева З.* Роман с героем — конгруэнтно — с самим собой. //Нева, 1988, №№ 2–5.

70. *Зедгинидзе И. Г.* Математическое планирование эксперимента для исследования и оптимизации свойств смесей. — Тбилиси: Мецниереба, 1971. — 151 с.

71. *Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д.* Элементы прикладной математики. — М.: Наука, 1972. 592 с.

72. *Иванов А. Е.* Ученые степени в Российской империи. — М.: 1994. — 198 с.

73. *Иванов В. Г., Лезгина М. Л.* Детерминация научного поиска. — Л.: Наука, 1978. — 205 с.

74. *Ивлев Ю. В.* Логика: Учебник для вузов. — М.: Логос, 1997. — 272 с.

75. *Икрамов Х. Д.*. Численное решение матричных уравнений. — М.: Наука, Физмат, 1984. 192 с.

76. *Иоффе А. Я., Петухов Г. Б., Миров Ю. Н.* Лекции по математической статистике: Учеб. пособие. — Л.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1970. — 176 с.

77. История ученых степеней в России и Западной Европе (XII — XX вв). — М.: РГГУ, 1998. — 131 с.

78. Как работать над диссертацией: метод. рекомендации для соискателей и аспирантов. — Баку: ИФАН, 1980. — 44 с.

79. *Калянов Г. Н.* CASE — структурный системный анализ (автоматизация и применение) /Пер. с англ. — Изд-во «ЛОРИ», 1996. — 242 с.

80. *Камышанова Л. К., Суслов Ю. А.* Молодой ученый. Каким ему быть? — Л.: Знание, 1978. — 32 с.

81. *Капица П. Л.* Эксперимент, теория, практика. — М.: Наука, 1977. — 352 с.

82. *Кауфман Б. Ш.* Языки программирования. Концепции и принципы. — М.: Радио и связь, 1993. — 432 с.

83. *Каханер Д., Моулер К., Нэш С.* Численные методы и математическое обеспечение /Пер. с англ. — М.: Мир, 1998. — 575 с.

84. *Киндлер Е.* Языки моделирования /Пер. с чешского. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 288 с.

85. *Клейнен Дж.* Статистические методы в имитационном моделировании /Пер. с англ. — М.: Статистика, 1978. — Вып. 1–2. — 386 с.

86. *Климов Е. А.* О некоторых нежелательных традициях в работе диссертационных советов по педагогическим и психологическим наукам //Бюлл. ВАК, 2002, № 1.

87. *Кирпичников М. П.* Интернет-конференция 23.03.2006.

88. *Кирпичников М. П.* Возведение в степень //«Российская газета», 26.04.2006.

89. *Коваленко Е. С., Киселев О. Н., Шарыгин Г. С.* Основы научных исследований: Учеб. пособие. — Томск: ТГУ, 1989. — 192 с.

90. *Кожемякин В. В.* Засекреченный адмирал. — СПб.: НИЦ БТС, 1999. — 92 с.

91. *Косолапов В. В.* Информационно-логический анализ научного исследования. — Киев: 1968. — 351 с.

92. *Котельников И. А., Чеботаев П. З.* Издательская система LaTeX 2_ε. — Новосибирск: Сибирский хронограф, 1998. — 496 с.

93. *Кравец А. С.* Идеалы и идолы науки. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. — 219 с.

94. *Кринецкий И. И.* Основы научного исследования: Учеб. пособие. — Киев, Одесса: Вища школа, 1981. — 207 с.

95. *Кристиан К.* Руководство по программированию на языке Модула-2 /Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 463 с.

96. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей /Пер. с англ. — М.: Советское радио, 1978. — 720 с.

97. *Круг Г. К., Сосулин Ю. А.* Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. — М.: Наука, 1977. — 208 с.

98. *Крылов А. Н.* Мои воспоминания. — Л.: Судостроение, 1984. — 480 с.

99. *Кузин Ф. А.* Диссертация: Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты / Практическое пособие для докторантов, аспирантов и магистрантов. — М.: Ось-89, 2000. — 320 с.

100. *Кузнецов Б. Г.* Ценность познания. — М.: Наука, 1975. — 167 с.

101. *Кузьмичев Д. А.* и др. Автоматизация экспериментальных исследований: Учеб. пособие. — М.: Наука, 1983. — 391 с.

102. *Лабковский Б. А.* Наука изобретать. — СПб.: Нордмет-издат, 1999. — 372 с.

103. *Лавров С. С.* Программирование. Математические основы, средства, теория. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 320 с.

104. *Ладыга И. Ф.* Методические рекомендации по оформлению диссертации и автореферата. — Военная артиллерийская академия, 1982. — 31 с.

105. *Ларошфуко Ф., Паскаль Б., Лабрюйер Ж., де.* Суждения и афоризмы. — М.: Политиздат, 1990. — 384 с.

106. *Левин В. И.* Рамануджан — математический гений Индии. — М.: Знание, 1968. — 48 с.

107. *Лишевский В. П.* Педагогическое мастерство ученого. — М.: Наука, 1975. — 118 с.

108. *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.

109. *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.

110. *Львовский С. М.* Набор и верстка в пакете LaTeX /2-е изд. — М.: Космоинформ, 1995. — 373 с.

111. Люйши Чуньцю. Весны и осени господина Люя /Пер. с китайского. — М.: Мысль, 2001. — 526 с.

112. *Майзель И. А.* Наука. Автоматизация. Общество. — Л.: Наука, 1972. — 280 с.

113. *Манин Ю.И.* Доказуемое и недоказуемое. — М.: Советское радио, 1979. — 168 с.

114. *Марьянович А. Т.* Эрратология, или как избежать наиболее неприятных ошибок при подготовке диссертации. — М.: Вузовская книга, 1999. — 162 с.

115. Математизация знаний и научно-технический прогресс. — Киев: Наукова думка, 1975. 255 с.

116. Математика в афоризмах, цитатах, высказываниях /сост. Н. А. Вирченко. — Киев: Вища школа, 1983. — 278 с.

117. *Матросов А.* Maple 6. Решение задач высшей математики и механики. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 528 с.

118. *Меткалф М., Рид Дж.* Описание языка программирования Фортран-90 /Пер. с англ. М.: Мир, 1995. — 302 с.

119. Методические материалы по организации труда начинающих исследователей: аспирантская школа по НОТ в науке. — Новосибирск: Наука, 1969. — 127 с.

120. 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.

121. Методология, методы и психология научного исследования: Учеб. пособие. — Тверь: ТГУ, 1995. — 38 с.

122. *Мину М.* Математическое программирование. Теория и алгоритмы /Пер. с франц. — М.: Наука, Физмат, 1990. — 488 с.

123. *Моисеев Н. Н.* Алгоритмы развития. — М.: Наука, 1987. — 304 с.

124. *Морозов А.* Программист. — М.: Молодая гвардия, 1979. — 303 с.

125. Мысли о науке. — Кишинев: Штиница, 1973. — 150 с.

126. *Мусаев Р. М.* Будущему кандидату технических наук. — Махачкала: 1990. — 78 с.

127. Наука и общество: Сб. ответов на анкету. — М.: Знание, 1977. — 192 с.

128. Научное творчество / Под ред. С. Р. Микулинского и М. Г. Ярошевского. — М.: Наука, 1969. — 446 с.

129. *Ницше Ф.* Так говорил Заратустра /Пер. с нем. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 302 с.

130. *Новиков А. М.* Докторская диссертация? — М., 1999. — 119 с.

131. *Нольден М.* Ваш первый выход в Интернет /Пер. с нем. — СПб.: ИКС, 1996. — 240 с.

132. Основы научных исследований: Учебник /Под ред. В. И. Крутова и В. В. Попова. — М.: Высшая школа, 1989. — 400 с.

133. Основы современных компьютерных технологий. — СПб.: КОРОНА Принт, 2005 — 672 с.

134. *Очков В. Ф.* Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. — М.: КомпьютерПресс, 1998. — 384 с.

135. *Очков В. Ф.* Mathcad 8. — М.: КомпьютерПресс, 1999. — 522 с.

136. Педагогика высшей школы: Учеб. пособие. — Л.: ЛГПИ им. А. И. Герцена, 1974. — 116 с.

137. *Пекелис В.* Твои возможности, человек! — М.: Знание, 1978. — 208 с.

138. *Петров А. Е.* Тензорная методология в теории систем. — М.: Радио и связь, 1985. — 152 с.

139. *Петров М. К.* Самосознание и научное творчество. — Ростов-н/Д: РГУ, 1992. — 268 с.

140. Положение о порядке присуждения ученых степеней / Утверждено постановлением Правительства РФ от 30.01.2002, № 74. //Бюлл. ВАК, 2002, № 2.

141. *Полонников Р. И.* Информационные меры при исследовании процессов в биотехнических системах //Изв. ВУЗ. — Приборостроение. — 2001. — т. 4, № 4. — С. 3–9.

142. *Понтекорво Б.* Энрико Ферми. — М.: Знание, 1971. — 48 с.

143. *Постников А. Г.* Культура занятий математикой. — М.: Знание, 1975. — 64 с.

144. *Потемкин В. Г.* Система MATLAB 5 для студентов: Справ. пособие. — М.: Диалог-МИФИ, 1998. — 314 с.

145. Преподавателю о преподавании математики: Метод. пособие /сост. С. Н. Лащенова. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1988. — 101 с.

146. *Приходько П. Т.* Тропой науки. — Новосибирск: Наука, 1965. — 144 с.

147. *Приходько П. Т.* Азбука исследовательского труда. — Новосибирск: Наука, 1979. — 93 с.

148. *Прудников А. П., Брычков Ю. А., Маричев О. И.* Интегралы и ряды. — М.: Наука, 1981. — 800 с.

149. Работа автора по подготовке рукописи к изданию. — Л.: ЛИИЖТ, 1991. — 50 с.

150. *Райзберг Б. А.* Диссертация и ученая степень: Пособие для соискателей. — М.: Инфра-М, 2004. — 414 с.

151. *Ракитов А. И.* Философские проблемы науки: системный подход. — М.: Мысль, 1977. — 270 с.

152. *Регирер Е. И.* О профессии исследователя в точных науках. — М.: Наука, 1966. — 167 с.

153. *Регирер Е. И.* Развитие способностей исследователя. — М.: Наука, 1969. — 230 с.

154. Рекомендации по подготовке к защите диссертации в форме научного доклада. — Мин-во электронной промышленности, 1986. — 7 с.

155. *Родный Н. И.* Очерки по истории и методологии естествознания. — М.: Наука, 1975. — 422 с.

156. *Рузавин Г. И.* Математизация научного знания. — М.: Знание, 1977. — 64 с.

157. Рустем Османов: неистовый мастер /Сб. воспоминаний. — М.: ИЧП «Гео», 1993. — 63 с.

158. *Рыжиков Ю. И.* Управление запасами. — М.: Наука, 1969. — 344 с.

159. *Рыжиков Ю. И.* О показательной аппроксимации распределения времени обслуживания //Изв. АН СССР, Техн. кибернетика. — 1971. — № 2. — С. 71–77.

160. *Рыжиков Ю. И.* Расчет системы массового обслуживания с порогом включения и разогревом //Изв. АН СССР, Техн. кибернетика. — 1974. — № 6. — С. 125–131.

161. *Рыжиков Ю. И.* Машинные методы расчета систем массового обслуживания: Учеб. пособие. — Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1979. — 177 с.

162. *Рыжиков Ю. И.* Эффективность и эксплуатация программного обеспечения ЭЦВМ: Учеб. пособие. — МО РФ, 1985. — 263 с.

163. *Рыжиков Ю. И.* Тестирование функционально избыточных пакетов программ //Программирование. — 1986. — № 1. — С. 22–29.

164. *Рыжиков Ю. И.* Три метода расчета временных характеристик разомкнутых систем массового обслуживания //Автоматика и телемеханика. — 1993. — № 3. — С. 127–133.

165. *Рыжиков Ю. И.* Подготовка рукописей в издательской системе LaTeX с графическими средствами: Учеб. пособие. — СПб.: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1996. — 111 с.

166. *Рыжиков Ю. И.* Программирование на Фортране PowerStation для инженеров. — СПб.: КОРОНА Принт, 1999. — 159 с.

167. *Рыжиков Ю. И.* Решение научно-технических задач на персональном компьютере. — СПб.: КОРОНА Принт, 2000. — 271 с.

168. *Рыжиков Ю. И.* Информатика. Лекции и практикум. — СПб.: КОРОНА Принт, 2000. — 255 с.

169. *Рыжиков Ю. И.* Теория очередей и управление запасами. — СПб.: Питер, 2001. — 376 с.

170. *Рыжиков Ю. И.* Работа над диссертацией по техническим наукам: Учеб. пособие. — СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2001. 298 с.

171. *Рыжиков Ю. И.* Имитационное моделирование. Теория и технологии. — СПб.: КОРОНА Принт, 2004. — 380 с.

172. *Рыжиков Ю. И.* Современный Фортран. — СПб.: КОРОНА Принт, 2004. — 288 с.

173. *Седов Л. И.* Размышления о науке и об ученых. — М.: Наука, 1980. — 440 с.

174. *Селетков С. Г.* Соискателю ученой степени. — Ижевск: Изд-во Ижевского ГТУ, 1999. — 174 с.

175. *Сельe Г.* От мечты к открытию /Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1987. — 368 с.

176. *Сенека Л. А.* Нравственные письма к Луцилию /Пер. с лат. — М.: Наука, 1977. — 384 с.

177. *Сенкевич М. П.* Литературное редактирование научных произведений: Учеб. пособие для редакторских факультетов полиграфических институтов. — М.: Высшая школа, 1970. — 272 с.

178. Словарь-справочник автора. — М.: Книга, 1979. — 301 с.

179. Слово о науке. Афоризмы, изречения, цитаты. — М.: Знание, 1986. — 287 с.

180. *Смолицкий Х. Л., Рыжиков Ю. И.* Вычислительная математика. — Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1976. — 144 с.

181. *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем. — М.: Высшая школа, 1998. — 320 с.

182. *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем: Практикум. — М.: Высшая школа, 1999. — 224 с.

183. *Солганик Г. Я.* Стилистика русского языка: Учеб. пособие. — М.: Дрофа, 1996. —272 с.

184. *Спивак М.* Восхитительный TEX: руководство по комфортному изготовлению научных публикаций в пакете AMS–TEX /Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — 288 с.

185. *Сухарев Ю. Н.* Формирование интеллектуального потенциала в научных профессиях. СПб.: Центр гуманитарных исследований СПб. ГУ, 1993. — 112 с.

186. Технические основы эффективности ракетных систем /Под ред. Е. Б. Волкова. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.

187. *Тихонов А. Н., Арсенин В. Я.* Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, Физмат, 1979. — 288 с.

188. *Тундыков Ю. Н.* Этика научного творчества. — М.: Знание, 1976. — 64 с.

189. *Тюрин Ю. Н., Макаров А. А.* Анализ данных на компьютере. — М.: Финансы и статистика, 1995. — 384 с.

190. *Уемов А. И.* Логические ошибки. Как они мешают правильно мыслить. — М.: Госполитиздат, 1958. — 119 с.

191. *Узюмов В. Л., Гусева Е. В.* Как работать над кандидатской диссертацией. — Владимир: ОКНИИ ВНИИЗЖ, 1999. — 165 с.

192. Ученые о науке и ее развитии: Сб. статей. — М.: Наука, 1971. — 259 с.

193. *Федотов В. В.* Техника и организация умственного труда. — Минск: Вышэйшая школа, 1983. — 144 с.

194. *Филатова Е. С.* Соционика для всех. Наука общения, понимания и согласия. — СПб.: Б&К, 1999. — 276 с.

195. *Филлипс Э. М.* Как написать и защитить диссертацию: Практ. руководство /Пер. с англ. — Челябинск: Урал, 1998. — 285 с.

196. Философия: Учеб. пособие для студентов вузов /Под ред. Ю. А. Харина. — Минск: ТетраСистемс, 2000. — 416 с.

197. *Фрадков А. Л.* Как опубликовать хорошую статью и отклонить плохую. Заметки рецензента //Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 10. — С. 149–160.

198. *Харди Г. Г.* Апология математика. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2000. — 104 с.

199. *Хеллерман Х., Смит А.* АПЛ–360: программирование и применения /Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1982. — 231 с.

200. *Хомская Е. Д.* Нейропсихология: Учебник для вузов. — М.: МГУ, 1987. — 288 с.

201. *Худяков В. Л.* Ученый и его творческий мир. — Л.: Наука, 1971. — 192 с.

202. *Хэссет Дж.* Введение в психофизиологию /Пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 248 с.

203. *Чеботарев Н. Г.* Математическая автобиография //Успехи математ. наук, 1948, вып. 4(20). — С. 3–66.

204. *Черничко Б. И., Баринов В. И.* Подготовка и аттестация научных кадров: Метод. пособие для соискателей ученых степеней. — М.: ВНИИ ГОЧС, 1996. — 159 с.

205. *Шевяков Л. Д.* Как работать над диссертацией. — М.: АН СССР, 1960. — 35 с.

206. *Шопенгауэр А.* Афоризмы и максимы /Пер. с нем. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. — 288 с.

207. *Шрайбер Т. Дж.* Моделирование на GPSS /Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.

208. *Шубников А. В., Копцик В. А.* Симметрия в науке и искусстве. — М.: Наука, 1972. — 339 с.

209. *Шустрова Л. В.* Практическая стилистика русского языка: Учеб. пособие. — М.: Новая школа, 1994. — 64 с.

210. *Юшкевич А. П.* Леонард Эйлер. — М.: Знание, 1982. — 64 с.

211. *Яглом И. М.* Математика и реальный мир. — М.: Знание, 1978. — 64 с.