

Игорь Ануфриев  
Александр Смирнов  
Елена Смирнова

bhv<sup>®</sup>

# МАТЛАВ 7

- Работа с массивами, графика
- Решение классических вычислительных задач
- Программирование
- Решение специальных задач
- Интеграция с MS Office

**Наиболее  
полное  
руководство**

+CD



**В ПОДЛИННИКЕ<sup>®</sup>**

**Игорь Ануфриев  
Александр Смирнов  
Елена Смирнова**

# **MATLAB 7**

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2005

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-018.2  
А73

**Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н.**

А73      MATLAB 7. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 1104 с.: ил.  
ISBN 5-94157-494-0

Книга посвящена применению пакета MATLAB и его расширений (Toolbox) для решения различных математических, экономических задач, задач математической физики, обработки данных и ряда других. Подробно рассмотрена работа с массивами, описаны возможности высокоуровневой и низкоуровневой графики. Значительный объем материала отведен вычислительным задачам: решению уравнений, систем линейных и нелинейных уравнений, интегрированию, аппроксимации функций, решению систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, задачам оптимизации и работе с разреженными матрицами. Изложены основы программирования на встроенном языке и принципы эффективного написания приложений в MATLAB, вопросы интеграции с MS Word и MS Excel.

Описаны возможности расширений Toolbox. Приведено множество примеров и заданий для самостоятельной работы. Для удобства читателей тексты программ собраны на прилагаемом компакт-диске.

*Для научных работников, преподавателей, инженеров и студентов*

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-018.2

### **Группа подготовки издания:**

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Евгений Рыбаков</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Алексей Семенов</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Смирновой</i>
Корректор	<i>Наталья Перишкова</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульникова</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 30.03.05.  
Формат 70×100<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 89.01.  
Тираж 5000 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 5-94157-494-0

© Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н., 2005  
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2005

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>1</b>
В1. О назначении и возможностях пакета MATLAB и его расширений .....	1
В2. О содержании книги .....	10
<b>Часть I. Основы работы в MATLAB</b> .....	<b>19</b>
<b>Глава 1. Простейшие вычисления</b> .....	<b>21</b>
Рабочая среда MATLAB .....	21
Арифметические вычисления .....	24
Простейшие вычисления .....	24
Форматы вывода результата вычислений .....	25
Использование элементарных функций .....	28
Встроенные элементарные функции .....	33
Тригонометрические, гиперболические и обратные к ним функции .....	33
Экспоненциальная функция, логарифмы, степенные функции .....	34
Функции для работы с комплексными числами .....	34
Округление и остаток от деления .....	34
Использование переменных .....	35
Сохранение и восстановление рабочей среды .....	38
Просмотр и удаление переменных, выбор имен переменных .....	42
Эффективная работа из командной строки ( <i>Command History</i> ) .....	44
Задания для самостоятельной работы .....	48
<b>Глава 2. Работа с массивами</b> .....	<b>50</b>
Ввод, сложение и вычитание векторов .....	51
Обращение к элементам вектора .....	57
Применение функций обработки данных к векторам .....	59
Поэлементные операции с векторами .....	62
Построение таблицы значений функции .....	65
Построение графиков функции одной переменной .....	70
Умножение векторов .....	75
Скалярное произведение .....	75
Векторное произведение .....	76
Внешнее произведение .....	77
Ввод матриц, простейшие операции .....	78
Различные способы ввода .....	78
Обращение к элементам матриц .....	79
Логическое индексирование .....	81

Сложение, вычитание, умножение, транспонирование и возведение в степень .....	84
Перемножение матрицы и вектора .....	86
Решение систем линейных уравнений .....	86
Считывание и запись данных .....	87
Блочные матрицы .....	89
Конструирование блочных матриц .....	89
Выделение блоков .....	91
Удаление строк и столбцов .....	91
Заполнение матриц при помощи индексации .....	92
Создание матриц специального вида .....	93
Визуализация матриц .....	97
Поэлементные операции и встроенные функции .....	99
Поэлементные операции с матрицами .....	99
Вычисление математических функций от элементов матриц .....	101
Применение функций обработки данных к матрицам .....	102
Графики функций двух переменных .....	105
Задания для самостоятельной работы .....	109
Задания на векторы .....	109
Задания на матрицы .....	109
<b>Глава 3. Высокоуровневая графика .....</b>	<b>112</b>
Построение графиков из окна <i>Workspace</i> .....	112
Диаграммы и гистограммы .....	116
Представление векторных данных .....	116
Диаграммы векторных данных .....	116
Гистограммы векторных данных .....	122
Представление матричных данных .....	126
Графики функций .....	129
Графики функций одной переменной .....	129
Графики в линейном масштабе .....	129
Графики в логарифмических масштабах .....	132
Изменение свойств линий .....	133
Оформление графиков .....	135
Графики параметрических и кусочно-заданных функций .....	137
Графики функций двух переменных .....	140
Трехмерные графики функций .....	140
Контурные графики .....	145
Оформление графика .....	148
Поворот графика, изменение точки обзора .....	153
Построение параметрически заданных поверхностей и линий .....	156
Построение освещенной поверхности .....	159
Анимированные графики .....	161
Работа с несколькими графиками .....	162
Вывод графиков в отдельные окна .....	163
Вывод нескольких графиков на одни оси .....	165
Несколько графиков в одном графическом окне .....	166
Визуализация векторных полей .....	169
Задания для самостоятельной работы .....	174

<b>Глава 4. Интерактивная среда для построения графиков.....</b>	<b>176</b>
Графические объекты .....	177
Редактор графиков.....	178
Свойства осей, подписи, заголовков.....	183
Цветовое оформление, разметка и сетка .....	184
Подписи и заголовков .....	186
Свойства линий и поверхностей.....	187
Свойства линий .....	187
Свойства поверхностей .....	190
Дополнительные элементы оформления .....	191
Обзор графиков и поверхностей .....	196
Изменение масштаба, определение значений функции, поворот .....	196
Камера для обзора графического объекта .....	197
Панель инструментов камеры .....	199
Сохранение, экспорт и печать .....	201
Задания для самостоятельной работы .....	204
<b>Глава 5. М-файлы .....</b>	<b>205</b>
Работа в редакторе М-файлов .....	205
Настройки редактора М-файлов.....	209
Типы М-файлов.....	212
Файл-программы .....	212
Установка путей.....	215
Команды для установки путей.....	218
Файл-функции .....	219
Файл-функции с одним входным аргументом .....	220
Файл-функции с несколькими входными аргументами.....	225
Файл-функции с несколькими выходными аргументами .....	225
Разновидности функций .....	227
Подфункции.....	228
Вложенные функции .....	232
Приватные функции .....	234
Разбиение М-файла на ячейки .....	234
Диагностика М-файлов .....	237
Задания для самостоятельной работы .....	239
<b>Часть II. Вычисления и программирование .....</b>	<b>241</b>
<b>Глава 6. Методы вычислений в MATLAB .....</b>	<b>243</b>
Исследование функций.....	243
Встраиваемые и анонимные функции.....	243
Решение уравнений .....	246
Решение произвольных уравнений.....	246
Вычисление всех корней полинома .....	252
Нахождение экстремумов функций.....	253
Минимизация функции одной переменной.....	253
Минимизация функции нескольких переменных.....	255
Управление ходом вычислений .....	258

Более подробно о <i>fplot</i> .....	262
Исследование функций, зависящих от параметров.....	264
Интегрирование функций.....	265
Вычисление определенных интегралов.....	265
Вычисление двойных интегралов.....	268
Вычисление некоторых интегралов.....	269
Интегралы, зависящие от параметра.....	269
Интегралы с переменным верхним пределом.....	271
Полиномы и интерполяция.....	271
Операции с полиномами.....	271
Умножение, деление, сложение и вычитание.....	271
Вычисление производных.....	273
Интерполирование и сглаживание.....	274
Приближение по методу наименьших квадратов.....	274
Интерполяция сплайнами.....	276
Интерполяция двумерных и многомерных данных.....	278
Задачи линейной алгебры.....	281
Системы уравнений, определители, обращение матриц.....	281
Системы с плохо обусловленными матрицами.....	283
Переопределенные и недоопределенные системы.....	285
Решение систем при помощи функции <i>linsolve</i> .....	287
Обращение матриц.....	290
Собственные числа и векторы матрицы, функции матриц.....	290
Решение дифференциальных уравнений.....	293
Решение задачи Коши.....	293
Решение уравнений Лотки—Вольтерры.....	298
Выбор солвера для решения задачи Коши.....	300
Управление процессом решения.....	301
Задание точности вычислений и шага интегрирования.....	303
Управление выводом результатов.....	307
Задание матрицы Якоби для повышения эффективности вычислений.....	312
Задачи с известными параметрами.....	314
Системы, не разрешенные относительно производной, дифференциально-алгебраические уравнения.....	316
Решение дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом.....	323
Решение граничных задач.....	330
Схема решения.....	330
Простой пример граничной задачи.....	333
Возможности солвера <i>bvp4c</i> , управление вычислениями.....	335
Граничные задачи с неизвестными параметрами.....	337
Решение задачи с особенностью на границе.....	342
Задания для самостоятельной работы.....	345
<b>Глава 7. Управляющие конструкции языка программирования.....</b>	<b>347</b>
Операторы цикла.....	347
Цикл <i>for</i> .....	347
Цикл <i>while</i> , суммирование рядов.....	357
Операторы ветвления.....	361
Условный оператор <i>if</i> .....	361

Проверка входных аргументов.....	362
Организация ветвления .....	366
Оператор <i>switch</i> .....	371
Выход из файл-функции, оператор <i>return</i> .....	374
Прерывание и продолжение циклов .....	375
Обработка исключительных ситуаций .....	377
Логические выражения с массивами и числами .....	379
Операции отношения.....	379
Логические операции с числами и массивами .....	380
Приоритет логических и арифметических операций .....	383
Задания для самостоятельной работы .....	384
<b>Глава 8. Обработка данных и приемы программирования в MATLAB .....</b>	<b>386</b>
Работа со строками.....	386
Простейшие операции со строками .....	386
Ввод и сцепление строк .....	386
Сервисные функции для работы со строками.....	388
Массивы строк .....	390
Текстовые файлы .....	392
Открытие файла, считывание данных и закрытие файла .....	393
Запись в текстовый файл.....	396
Запись строк .....	397
Форматный вывод .....	399
Простые структуры.....	403
Массивы структур и массивы ячеек .....	408
Массивы структур.....	408
Создание файл-функций для работы массивами структур.....	413
Запись данных массивов структур в текстовый файл .....	414
Считывание информации из текстового файла .....	416
Операции с массивами структур .....	420
Массивы ячеек .....	421
Приложения с интерфейсом из командной строки .....	427
Простой пример, программа-калькулятор.....	428
Формирование и исполнение команд, функция <i>eval</i> .....	432
Организация вывода текстовых результатов.....	437
Файл-функции с переменным числом аргументов .....	437
Функции от функций .....	446
Перманентные переменные.....	450
Рекурсивные функции.....	455
Диалоговая отладка программ .....	467
Точки останова, пошаговое выполнение программы.....	467
Пример диалоговой отладки .....	471
Задания для самостоятельной работы .....	477
<b>Глава 9. Deskрипторная графика .....</b>	<b>480</b>
Основы deskрипторной графики.....	480
Свойства графических объектов .....	481
Функции <i>set</i> и <i>get</i> , текущие объекты .....	481
Свойства осей .....	482
Свойства линий и поверхностей.....	486

Указатели на объекты.....	489
Изменение свойств линий и осей.....	489
Добавление линий графиков.....	492
Удаление и очистка объектов.....	493
Влияние команд <i>hold</i> , <i>cla</i> , <i>clf</i> и <i>reset</i> на свойства окна и осей.....	494
Получение информации о свойствах графических объектов.....	495
Использование указателей, примеры.....	497
Задание свойств в аргументах графических функций.....	499
Размещение окон, осей и текста.....	500
Расположение графических окон и осей.....	500
Вывод текстовой информации.....	509
Графические объекты.....	522
Иерархия объектов.....	523
Объект <i>Root</i> .....	524
Объект <i>Figure</i> (графическое окно).....	525
Базовые объекты ( <i>Core Objects</i> ).....	527
Объекты <i>Rectangle</i> и <i>Line</i> , блок-схемы и диаграммы.....	527
Объект <i>Patch</i> , цветовое оформление объектов.....	531
Освещение объектов, объект <i>Light</i> (источник света).....	541
Управление объектами, копирование, поиск, скрытые указатели.....	545
Объекты-группы <i>hggroup</i> и <i>hgtransform</i> .....	553
Рисованные объекты ( <i>Plot Objects</i> ).....	557

### **Часть III. Приложения с графическим интерфейсом.....561**

#### **Глава 10. Принципы создания приложений с GUI.....563**

Среда <i>GUIDE</i> .....	564
Программирование событий.....	568

#### **Глава 11. Конструирование интерфейса.....575**

Управление свойствами объектов.....	575
Работа над приложением.....	577
Запуск приложения и его редактирование.....	577
Размеры объектов и их выравнивание.....	579
Всплывающие подсказки и пиктограммы.....	581
Программирование элементов интерфейса.....	582
Флаги, рамки.....	582
Переключатели.....	586
Списки.....	593
Полосы скроллинга.....	598
Область ввода текста.....	600
Свойства приложения.....	602
Изменение размеров приложения.....	602
Взаимодействие приложения со средой <i>MATLAB</i> .....	605
Способы программирования событий.....	606
Порядок обхода элементов управления клавишей <Tab>.....	607

<b>Глава 12. Диалоговые окна и меню приложения .....</b>	<b>609</b>
Виды диалоговых окон.....	609
Окно подтверждения .....	609
Окна открытия и сохранения файла .....	611
Окно с сообщением об ошибке.....	613
Меню графического окна.....	614
Редактор меню.....	614
Программирование пунктов меню .....	617
Оформление меню.....	618
Пункты меню с флагами состояния .....	619
Разделительные линии.....	620
Упорядочение меню.....	621
Контекстное меню объектов.....	622
Создание контекстного меню в редакторе.....	623
Связывание контекстного меню с объектом.....	624
Программирование контекстного меню .....	624
<b>Глава 13. Программирование событий.....</b>	<b>627</b>
События графических объектов.....	627
Приложение для получения ASCII-кода символа .....	628
Как вызываются подфункции обработки событий .....	630
Событие <i>ButtonDownFcn</i> .....	634
Событие <i>ButtonDownFcn</i> осей .....	634
Событие <i>ButtonDownFcn</i> линии .....	637
Создание приложений с GUI без среды GUIDE .....	638
Свойства объектов, полезные при программировании событий .....	641
Прерывание обработки событий .....	641
Изменение формы курсора .....	642
<b>Часть IV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ TOOLBOX И РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ .....</b>	<b>643</b>
<b>Глава 14. Решение задач математической физики .....</b>	<b>645</b>
Простой пример .....	645
Постановка задачи.....	646
Среда <i>pdetool</i> , конструирование области .....	646
Определение уравнения и граничных условий .....	649
Решение и визуализация результата .....	652
Описание возможностей PDE Toolbox .....	654
Эллиптическое уравнение .....	655
Переменные коэффициенты и правая часть уравнения .....	656
Параболическое и гиперболическое уравнения .....	657
Пример нестационарной задачи.....	658
Задача на собственные значения .....	661
Системы дифференциальных уравнений.....	661
Параметры триангуляции и управление процессом решения.....	663
Конструирование геометрии области.....	665
Геометрические примитивы.....	665
Задание структуры области .....	666

Композитные материалы .....	668
Использование сетки .....	669
Использование функций PDE Toolbox .....	670
Задание геометрии области .....	670
Триангуляция .....	678
Граничные условия и коэффициенты уравнения .....	680
Солверы .....	682
Визуализация результата .....	685
Решение модельной задачи .....	686
Функции PDE Toolbox .....	688
Создание геометрических примитивов .....	689
Геометрия области и триангуляция .....	689
<b>Глава 15. Разреженные матрицы .....</b>	<b>692</b>
Работа с разреженными матрицами .....	692
Схема хранения .....	692
Создание разреженных матриц .....	694
Операции с разреженными матрицами .....	699
Задачи линейной алгебры .....	703
Факторизация матриц .....	703
Профайлер .....	708
Решение систем уравнений и исследование спектра .....	716
<b>Глава 16. Оптимизация .....</b>	<b>718</b>
Optimization Toolbox .....	718
Линейное и нелинейное программирование .....	718
Линейное программирование .....	718
Квадратичное программирование .....	721
Нелинейное программирование .....	724
Нелинейные задачи .....	727
Задача о достижении границы .....	727
Минимизация функции с полубесконечными ограничениями .....	728
Минимаксная задача .....	731
Решение нелинейных уравнений .....	733
Метод наименьших квадратов .....	735
Подбор параметров .....	736
Параметры оптимизации .....	739
Примеры .....	741
Решение системы нелинейных уравнений .....	742
Пример приложения с GUI .....	746
<b>Глава 17. Символьные вычисления .....</b>	<b>751</b>
Символьные переменные и функции .....	751
Определение переменных и функций и работа с ними .....	751
Матрицы и векторы .....	754
Вычисления с символьными переменными .....	756
Графическое представление функций .....	758
Упрощение, преобразование и вычисление выражений .....	760

Решение задач.....	763
Задачи линейной алгебры.....	763
Суммирование и разложение в ряд.....	767
Пределы, дифференцирование и интегрирование.....	769
Решение уравнений и систем.....	775
Решение дифференциальных уравнений и систем.....	778
<b>Глава 18. Работа со сплайнами в Spline Toolbox.....</b>	<b>784</b>
Сплайны и формы их представления.....	784
Кусочно-полиномиальная форма ( <i>pp</i> -форма).....	785
<i>B</i> -форма (разложение по базисным сплайнам).....	785
Интерполяционные сплайны.....	786
Построение кубического сплайна.....	786
Стандартные краевые условия.....	786
Операции над сплайнами.....	788
Построение сплайна для вектор-функции.....	790
Произвольные краевые условия.....	792
Использование сплайнов в <i>B</i> -форме.....	795
Сглаживающие сплайны.....	802
Интерактивное построение кривых.....	807
Приложение <i>splinetool</i> .....	809
Сплайны для поверхностей.....	814
<b>Глава 19. Приближение данных и подбор параметров в Curve Fitting Toolbox.....</b>	<b>819</b>
Приложение Curve Fitting Tool и его средства.....	820
Создание множества данных для приближения.....	821
Предварительная обработка данных.....	824
Исключение данных из таблицы.....	824
Начальная фильтрация табличной функции.....	826
Приближение табличных функций.....	829
Создание приближений.....	829
Контроль качества приближений.....	832
Типы аппроксимации для подбора параметров.....	836
Определение собственной параметрической модели.....	840
Анализ построенных приближений.....	845
<b>Глава 20. Решение экономических задач.....</b>	<b>848</b>
Функции для работы с датами и временем.....	849
Представление времени и дат в MATLAB.....	849
Функции определения числа дней между датами.....	852
Расчеты денежных потоков.....	856
Расчеты по обслуживанию кредитов.....	864
Расчеты по долговым ценным бумагам.....	867
Дисконтные активы.....	867
Купонные облигации.....	871
Портфельный анализ рискованных активов.....	881
Построение эффективной границы рискованных активов.....	883
Оптимальный выбор портфеля.....	887
Дополнительные ограничения при анализе портфелей.....	896

<b>Часть V. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ MATLAB .....</b>	<b>909</b>
<b>Глава 21. Связь MATLAB и MS Office .....</b>	<b>911</b>
Публикация результатов работы .....	911
М-книги.....	914
Настройка MATLAB и создание М-книги .....	914
Группировка ячеек .....	917
Управление М-книгой .....	920
Совместная работа в MATLAB и MS Excel .....	921
Конфигурирование MS Excel .....	922
Обмен данными между MATLAB и MS Excel .....	923
Обращение к основным функциям MS Excel Link .....	925
Функции MS Excel Link .....	927
<b>Глава 22. Модернизация приложений с GUI версии 5.3.....</b>	<b>929</b>
Пример приложения для MATLAB 5.3.....	929
Модернизация приложения .....	931
Сохранение приложения в формате FIG.....	932
Переход к форматам FIG и М.....	934
<b>Глава 23. Повышение производительности приложений MATLAB .....</b>	<b>938</b>
Ускорение работы М-файлов, экономия памяти.....	938
Поэлементные операции .....	938
Экономия памяти .....	941
Выделение памяти под массивы .....	944
Связь MATLAB с другими языками программирования .....	946
Конфигурирование MATLAB Compiler .....	947
Простой пример, сложение двух чисел .....	948
Работа с комплексными переменными .....	952
Обмен массивами данных .....	954
Ускорение работы при использовании циклов.....	958
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>961</b>
<b>Приложение 1. Основные команды и функции MATLAB и Toolbox .....</b>	<b>963</b>
Управление средой, файлами и переменными .....	963
Получение справочной информации .....	963
Управление средой MATLAB.....	964
Управление переменными.....	967
Манипулирование файлами и каталогами.....	969
Операторы и специальные символы .....	971
Логические операции и операторы.....	972
Побитовые операции.....	973
Логические функции .....	978
Программирование.....	981
Конструкции языка.....	981
Сервисные функции и переменные.....	982

Интерактивный ввод .....	984
Объектно-ориентированное программирование и преобразование типов .....	986
Функции даты и времени .....	986
Двоичные и текстовые файлы .....	987
Функции для работы с массивами ячеек .....	995
Функции для работы со структурами .....	999
Звуковые и графические файлы .....	1003
Чтение, запись и преобразование звуковых данных .....	1003
Графические файлы .....	1004
Операции со строками .....	1007
Обработка строк .....	1007
Преобразования "строка-число" .....	1011
Преобразование системы счисления .....	1015
Работа с матрицами и массивами .....	1016
Создание матриц и массивов .....	1016
Операции с массивами .....	1018
Математические функции .....	1019
Специальные функции .....	1019
Преобразование координат .....	1024
Решение различных математических задач .....	1025
Матричный анализ .....	1025
Решение спектральных задач .....	1028
Решение линейных уравнений, разложение и обращение матриц .....	1029
Вычисление функций от матриц .....	1032
Поиск корней .....	1033
Интерполяция и приближение данных .....	1035
Минимизация и оптимизация .....	1036
Дифференцирование и конечные разности .....	1037
Интегрирование .....	1038
Решение дифференциальных уравнений и систем .....	1039
Графика и визуализация данных .....	1039
Интерактивная среда для построения и редактирования графиков .....	1039
Двумерные графики .....	1040
Трехмерные и контурные графики .....	1046
Визуализация векторных полей .....	1061
Визуализация функции на прямоугольной области .....	1065
Оформление графиков .....	1068
Управление видом графика, камера .....	1072
<b>Приложение 2. Описание компакт-диска .....</b>	<b>1081</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>1082</b>

# Введение

## В1. О назначении и возможностях пакета MATLAB и его расширений

Название MATLAB является сокращением от Matrix Laboratory, и первоначально пакет MATLAB разрабатывался как средство доступа к библиотекам программ LINPACK и EISPACK, предназначенных для матричных вычислений. Пакет MATLAB создан компанией MathWorks около двадцати лет назад. Работа сотен ученых и программистов направлена на постоянное расширение его возможностей и совершенствование заложенных алгоритмов. В настоящее время MATLAB является мощным и универсальным средством решения задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности. Спектр проблем, исследование которых может быть осуществлено при помощи MATLAB и его расширений (Toolbox), охватывает: матричный анализ, обработку сигналов и изображений, задачи математической физики, оптимизационные задачи, финансовые задачи, обработку и визуализацию данных, работу с картографическими изображениями, нейронные сети, нечеткую логику и многое другое. Около сорока специализированных Toolbox могут быть выборочно установлены вместе с MATLAB по желанию пользователя. В состав многих Toolbox входят приложения с графическим интерфейсом пользователя, которые обеспечивают быстрый и наглядный доступ к основным функциям. Пакет Simulink, поставляемый вместе с MATLAB, предназначен для интерактивного моделирования нелинейных динамических систем, состоящих из стандартных блоков.

Обширная и удобная справочная система MATLAB способна удовлетворить потребности как начинающего, так и достаточно опытного пользователя. Полная гипертекстовая информационная система (на английском языке) содержит описание встроенных функций и достаточно большое число примеров их использования. Ссылки позволяют переходить к разделам, имеющим отношение к изучаемому вопросу, что облегчает самостоятельный поиск интересующей информации. Доступ из командной строки к кратким сведениям о встроенных функциях обеспечивает возможность быстрого выбора нужного варианта обращения к функциям. Инженерам и научным работникам, проводящим самостоятельные исследования, оказываются полезными прилагаемые к пакету электронные книги в формате PDF. Данные книги не только дублируют справочную систему MATLAB и каждого Toolbox, но и содержат теоретические сведения и математическую ба-

зу, необходимые для осознанного использования описываемых средств. Справочная система снабжена ссылками на книги и статьи, посвященные реализованным алгоритмам в MATLAB и Toolbox, что позволяет исследователю и разработчику собственных алгоритмов вникнуть в суть дела.

MATLAB обладает хорошо развитыми возможностями визуализации двумерных и трехмерных данных. Высокоуровневые графические функции призваны сократить усилия пользователя до минимума, обеспечивая, тем не менее, получение качественных результатов. Интерактивная среда для построения графиков позволяет обойтись без графических функций для визуализации данных. Кроме того, она служит и для оформления результата желаемым образом: размещения поясняющих надписей, задания цвета и стиля линий и поверхностей, словом, для получения изображения, пригодного для включения в отчет или статью. Полный доступ к изменению свойств отображаемых графиков дают низкоуровневые функции, применение которых подразумевает понимание принципов компьютерной графики и владение приемами программирования.

В MATLAB реализованы классические численные алгоритмы решения уравнений, задач линейной алгебры, нахождения значений определенных интегралов, аппроксимации, решения систем или отдельных дифференциальных уравнений. Для применения базовых вычислительных возможностей достаточно знания основных численных методов в рамках программы технических вузов. Решение специальных задач, разумеется, невозможно без соответствующей теоретической подготовки; впрочем, сведения, изложенные в справочной системе, оказываются неоценимым подспорьем для желающих самостоятельно разобраться в обширных возможностях пакета MATLAB.

Простой встроенный язык программирования позволяет легко создавать собственные алгоритмы. Простота языка программирования компенсируется огромным множеством функций MATLAB и Toolbox. Данное сочетание позволяет достаточно быстро разрабатывать эффективные программы, направленные на решение практически важных задач.

Визуальная среда GUIDE предназначена для написания приложений с графическим интерфейсом пользователя. Работа в среде GUIDE проста, но предполагает владение основами программирования и дескрипторной графики. Наличие определенного навыка работы в среде GUIDE предоставляет возможность создать визуальную среду для проведения собственных исследований, что значительно облегчает работу и существенно экономит время.

Объектно-ориентированный подход, заложенный в основу MATLAB, обеспечивает современную эффективную технологию программирования. С учетом специфики решаемой задачи разработчик приложений MATLAB в дополнение к существующим классам имеет возможность создавать собственные со своими методами.

MATLAB прекрасно интегрируется со многими приложениями и средами программирования. Связь MATLAB и MS Word обеспечивает возможность написания в редакторе MS Word интерактивных документов, так называемых М-книг, основанных на специальном шаблоне. Пользователь, работающий с М-книгой, может запускать блоки команд MATLAB непосредственно из документа MS Word, причем результат выполнения команд отображается в М-книге. Данное средство прекрасно подходит для создания электронных отчетов и учебных пособий.

Надстройка MS Excel Link, поставляемая вместе с MATLAB, существенно расширяет возможности MS Excel, обеспечивая доступ пользователя к функциям MATLAB и Toolbox. Подготовка данных осуществляется непосредственно в электронных таблицах, а обращение к функциям производится либо из ячеек рабочего листа, либо в модуле, написанном на Visual Basic (VBA). MATLAB Builder for MS Excel позволяет реализовывать алгоритмы MATLAB в виде COM-объектов и использовать их в приложениях на VBA.

Информация, хранящаяся в базах данных многих популярных форматов, может быть импортирована в MATLAB, нужным образом обработана и исследована при помощи функций MATLAB, а затем экспортирована в какую-либо другую базу данных. Для обмена данными используются команды языка запросов SQL. Поддерживается, в частности, связь с Microsoft Access, Microsoft SQL Server, Oracle. Имеется приложение с графическим интерфейсом, которое облегчает работу пользователей, не знакомых с языком запросов SQL.

Символические вычисления в MATLAB основаны на библиотеке, являющейся ядром пакета Maple. Решение уравнений и систем, интегрирование и дифференцирование, вычисление пределов, разложение в ряд и суммирование рядов, поиск решения дифференциальных уравнений и систем, упрощение выражений — вот далеко не полный перечень возможностей MATLAB для проведения аналитических выкладок и расчетов. Поддерживаются вычисления с произвольной точностью. Пользователи, имеющие опыт работы в Maple, могут напрямую обращаться ко всем функциям данного пакета (кроме графических) и вызывать процедуры, написанные на встроенном языке Maple.

Программный интерфейс приложения (API) реализует связь среды MATLAB с программами, написанными на C, Fortran или Java. Библиотека программного интерфейса позволяет вызывать имеющиеся модули на C, Fortran или Java из среды или программ MATLAB, обращаться к функциям MATLAB из программ на C или Fortran, осуществлять обмен данными между приложениями MATLAB и другими программами. Средства MATLAB Builder for COM предназначены для преобразования программ MATLAB в COM-объекты, доступные в других приложениях.

Для разработки интернет-приложений MATLAB создан MATLAB Web Server, причем процесс создания приложения достаточно прост — кроме умения программировать в MATLAB требуется только знание основ HTML.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что начинающий пользователь MATLAB может в процессе работы совершенствовать свои знания как в области моделирования и численных методов, так и программирования, и визуализации данных. Огромным преимуществом MATLAB является открытость кода, что дает возможность опытным пользователям разбираться в запрограммированных алгоритмах и, при необходимости, изменять их. Впрочем, разнообразие набора функций MATLAB и Toolbox допускает решение большинства задач без каких-либо предварительных модификаций.

Далее мы перечислим основные возможности Toolbox. Чтение этих сведений вы можете сопровождать запуском демонстрационных файлов MATLAB. Для этого следует запустить MATLAB и в меню **Help** выбрать пункт **MATLAB Help**. Появляется окно интерактивной справочной системы, в левой части которого на вкладке **Demos** содержатся разделы MATLAB и Toolboxes. Щелчок мышью по названию раздела приводит к его раскрытию и отображению содержимого подразделов в правой части окна справочной системы (рис. В1).

Посмотрите, например, обзор базовых графических возможностей пакета, который содержится в подразделах **Graphics** и **3-D Visualization**. К примеру, в подразделе **Graphics** перейдите к пункту **Functions of Complex Variables** и запустите соответствующую демонстрацию при помощи двойного щелчка мышью по названию пункта или щелчка мышью по ссылке **Run this demo** в верхнем правом углу окна справочной системы. В появившемся окне **Functions of Complex Variables** нажимайте кнопку **Next**, при этом строятся графики функций комплексных переменных, а сами выражения для функций выводятся в заголовке графиков. Обратите внимание на текстовую область под графиком, в которой отображаются те команды, которые надо вызвать в MATLAB для получения подобных результатов.

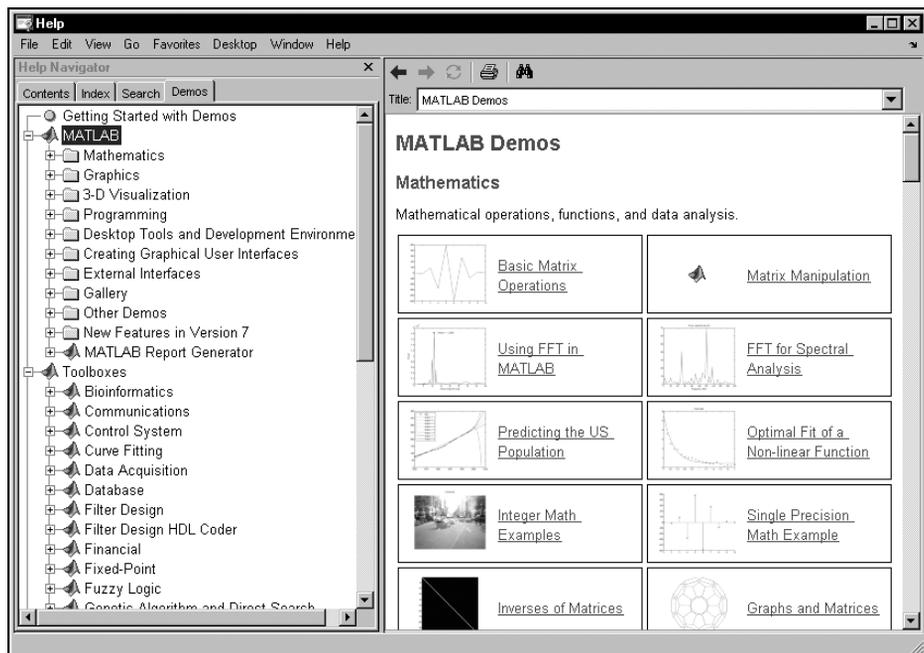


Рис. В1. Окно справочной системы со ссылками на демонстрационные файлы

Некоторые возможности MATLAB представлены видеодемонстрациями, например: использование интерактивной среды для построения графиков (пункт **Interactive Plot Creation with the Plot Tools** подраздела **Graphics**), создание приложений с графическим интерфейсом (пункт **Creating a GUI with GUIDE** подраздела **Creating Graphical User Interfaces**). Если вы работали в прежних версиях MATLAB, то вам окажутся полезными видеобзоры новых возможностей среды, редактора, графики и программирования, которые содержатся в подразделе **New Features in Version 7**.

Двойной щелчок мышью по разделу **Toolboxes** приводит к раскрытию списка подразделов. Темы каждого подраздела охватывают многие практически важные задачи, которые могут быть решены при помощи данного Toolbox. Разумеется, возможности Toolbox не исчерпываются представленными в демонстрациях. Далее приведено краткое описание некоторых Toolbox.

### Примечание

Для того чтобы узнать, какие именно Toolbox входят в установку MATLAB на вашем компьютере, достаточно запустить MATLAB и в командной

строке (обозначенной символом >>) набрать `ver` и нажать <Enter>. Выводятся названия всех доступных Toolbox с указанием их версий.

Средства обработки сигналов собраны в нескольких Toolbox. Базовые инструменты для решения задач обработки сигналов находятся в Signal Processing Toolbox:

- генерация, импорт и экспорт сигналов;
- разработка, анализ и применение цифровых фильтров с конечной и бесконечной импульсной характеристикой;
- конструирование аналоговых фильтров;
- преобразования, спектральный анализ и статистическая обработка сигналов;
- моделирование параметрических временных рядов.

В состав Signal Processing Toolbox входит несколько приложений с графическим интерфейсом, предназначенных для облегчения доступа к функциям Toolbox. Данные приложения позволяют импортировать, визуализировать и исследовать сигналы, изучать спектр сигналов, интерактивно создавать фильтры с заданными характеристиками. Более широкие возможности для конструирования фильтров предоставляют Filter Design Toolbox и Filter Design HDL Coder. Разработка и анализ высокочастотных цепей могут быть осуществлены в RF Toolbox. Для построения моделей систем на основе экспериментально полученных данных служит System Identification Toolbox.

При исследовании и обработке сигналов и изображений оказывается очень полезным вейвлетный анализ, который можно сделать средствами Wavelet Toolbox.

Алгоритмы обработки изображений собраны в Image Processing Toolbox, функции которого позволяют осуществить:

- импорт и экспорт графической информации;
- геометрические операции, например такие, как изменение размеров и поворот;
- получение статистической информации об изображении;
- анализ изображений, например, нахождение границ интенсивности;
- обработка изображений: изменение контрастности, применение фильтров;
- разработка линейных фильтров;
- дискретные преобразования, в частности, быстрое преобразование Фурье;
- операции над соседними элементами;

- работа с картой цветов;
- различные методы представления цветов;
- преобразование типов изображений.

В состав Image Processing Toolbox входит несколько демонстрационных приложений, охватывающих решение задач о нахождении границ изображений, фильтрации и разработки фильтров, сжатии изображения. Для работы с картографическими изображениями имеется отдельный Mapping Toolbox. Получение видеоинформации от внешних устройств может быть выполнено средствами Image Acquisition Toolbox.

Среда MATLAB позволяет осуществить импортирование цифровых и аналоговых данных с использованием совместимого с PC оборудования, их обработку и экспортирование. Для обмена данными служат Data Acquisition Toolbox и Instrument Control Toolbox, функции которых поддерживают работу с оборудованием известных производителей.

Для статистической обработки информации и анализа данных имеется несколько Toolbox. Функции и приложения Statistics Toolbox покрывают широкий спектр статистических задач и реализуют основные методы их решения. Доступно более двадцати классических распределений, для них имеются функции распределения вероятности (и обратной к ней), плотности вероятности, вычисления моментов распределений и генерации выборки из распределения. Основные классы статистических задач могут быть исследованы при помощи Statistics Toolbox, включая:

- исследование линейных моделей;
- параметрическое оценивание;
- проверку гипотез;
- планирование эксперимента;
- задачи кластерного анализа и др.

Statistics Toolbox содержит набор функций для построения статистических графиков и приложения с графическим интерфейсом пользователя, предназначенные для изучения распределений и аппроксимации данных с использованием регрессионной модели.

Приближение данных различными способами реализовано в Curve Fitting Toolbox и Spline Toolbox, предоставляющих следующие возможности:

- предварительная обработка табличных данных до приближения;
- параметрическое и непараметрическое сглаживание;

- аппроксимация с использованием линейных и нелинейных моделей, причем имеется библиотека широко распространенных моделей и предусмотрена возможность создания собственных;
- устойчивые методы подбора параметров;
- вычисление различных критериев приближений;
- анализ данных: экстраполяция, интегрирование, дифференцирование;
- представление сплайнов в кусочно-полиномиальной форме и  $B$ -форме, преобразование из одной формы в другую;
- интерполяция и сглаживание при помощи сплайнов;
- вычисление производных, интегралов и отображений от сплайнов;
- выбор оптимального расположения узлов сплайна;
- тензорное произведение сплайнов для конструирования многомерных сплайн-функций;
- рациональные сплайны;
- применение сплайнов для решения нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений.

Проблемы, возникающие в различных областях экономики и финансов, могут быть исследованы при помощи специализированных алгоритмов нескольких Toolbox: Financial, Financial Derivatives, GARCH, Financial Time Series, Datafeed и Fixed-Income. Перечислим основные задачи, решение которых может быть выполнено функциями и приложениями данных Toolbox:

- вычисление и анализ цены, доходности и чувствительности отдельных финансовых активов (основных и производных ценных бумаг) на срочном и спотовом рынках;
- проведение анализа для управления портфелями ценных бумаг;
- подбор и оценивание стратегий хеджирования (страхования) операций на различных рынках;
- управление рисками, их выявление и оценивание;
- вычисление потоков платежей и их анализ, в том числе оценка инвестиционных проектов, анализ и прогнозирование экономических показателей;
- проектирование составных финансовых инструментов, включая валютные операции;

- моделирование и оценивание волатильности временных рядов методами математической статистики, проверка статистических гипотез, выявление корреляции обрабатываемых случайных процессов;
- калькуляция цены, доходности и чувствительности активов с фиксированным доходом по методикам Ассоциации индустрии ценных бумаг США и Канады;
- импортирование статистических данных с финансовых рынков и проведение на их основе технического анализа с привлечением большого количества индикаторов.

Как мы уже упоминали, MATLAB поддерживает символьные вычисления. Symbolic Math Toolbox содержит функции, обеспечивающие доступ к вычислительному ядру Maple. Пользуясь ими, вы можете: производить интегрирование и суммирование, вычислять пределы и находить разложение функций в ряд, упрощать выражения, находить определители, решать задачи на собственные значения, применять различные преобразования, решать алгебраические и дифференциальные уравнения, проводить вычисления с любой точностью, словом, использовать все возможности символьной математики Maple. Интерфейс с Maple и входящими в его состав пакетами может быть налажен средствами Extended Symbolic Math Toolbox.

Optimization Toolbox нацелен на решение основных линейных и нелинейных задач оптимизации, причем для задач с большим числом неизвестных предусмотрены весьма эффективные специальные методы. Класс задач, охватываемый данным Toolbox, включает:

- линейное и квадратичное программирование;
- минимизацию нелинейных функций при наличии нелинейных ограничений;
- подбор параметров;
- минимаксные задачи и задачи о достижении цели.

Partial Differential Equations Toolbox (PDE Toolbox) создан для решения задач математической физики, описываемых дифференциальными уравнениями и системами в частных производных, методом конечных элементов. Решение задач значительно упрощается благодаря приложению с графическим интерфейсом, которое позволяет легко и наглядно осуществить все этапы решения задач методом конечных элементов — от задания области и граничных условий до визуализации результата. Приложение может быть легко настроено на определенный класс решаемых задач, например таких, как:

- теория упругости;
- электростатика и магнитостатика;

- теплопроводность;
- теория диффузии.

Нестационарные процессы отображаются при помощи анимированных графиков. В состав PDE Toolbox входят солверы для решения нелинейных задач и задач в адаптивном режиме. Возможности PDE Toolbox не ограничиваются вышеперечисленными типами задач, в частности, встроенные функции могут быть использованы для решения систем уравнений произвольной размерности.

PDE Toolbox является хорошим компактным пакетом для обучения основам метода конечных элементов и введения в конечноэлементные пакеты. Однако серьезные инженерные практические задачи вряд ли могут быть решены в нем, поскольку он поддерживает только один тип конечных элементов — линейные треугольные. До 2003 г. в состав MATLAB входило приложение FEMLAB, которое затем стало отдельным программным продуктом, но FEMLAB может быть установлен и как приложение MATLAB. FEMLAB позволяет моделировать двумерные и трехмерные задачи, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных: перенос, течения, упругость и электромагнетизм.

Следует подчеркнуть, что MATLAB и его расширения могут с успехом применяться для интерактивного моделирования и анализа нелинейных систем, исследования устойчивости, разработки цифровых и аналоговых систем связи, передачи и хранения информации. Многие практические задачи, возникающие в области нечеткой логики и нейронных сетей, могут быть решены с использованием соответствующих Toolbox. В 7-ую версию MATLAB включен Bioinformatics Toolbox, предназначенный для решения некоторых задач, лежащих на стыке биологии и информатики.

В начале введения мы упомянули пакет Simulink, поставляемый вместе с MATLAB, который служит для исследования нелинейных динамических систем. Он хорошо интегрируется в среду MATLAB и расширяет ее возможности. Например, сочетание Simulink и Signal Processing Blockset позволяет в удобной среде разрабатывать алгоритмы обработки сигналов и генерировать код на C. Обзор возможностей, предоставляемый Simulink, занимает много места — мы отсылаем заинтересованных читателей к нескольким книгам [2, 5].

## **V2. О содержании книги**

Разумеется, ограниченность объема книги не позволяет подробно описать все средства, которые MATLAB и Toolbox предоставляют в распоряжение исследователя и инженера.

Первая часть книги посвящена основам работы в MATLAB. В *главе 1* описаны рабочая среда и приемы эффективной работы из командной строки. Объяснено использование переменных и вычисление арифметических выражений, изменение формата вывода чисел и основные встроенные математические функции.

*Глава 2* книги подробно разъясняет принципы работы с матрицами и векторами, включая основы визуализации векторных и матричных данных. Особенности представления данных в виде массивов, в частности, матриц и векторов, дают пользователю более широкие возможности по сравнению с большинством языков программирования. Набор специальных функций и средств унифицирует работу с массивами данных, делая ее очень эффективной. Отсутствие навыков оперирования с массивами в MATLAB приводит к многочисленным затруднениям даже при решении самых простых задач.

*Глава 3* нацелена на обучение читателя свободному владению средствами высокоуровневой графики для построения диаграмм и гистограмм, линий, поверхностей и векторных полей. Пакет MATLAB обладает чрезвычайно мощными возможностями визуализации одномерных и многомерных данных различных типов, включая и построение графиков функций. Приведены команды, служащие для организации и оформления графических результатов с целью получения хорошо читаемых графиков.

Интерактивная среда для построения графиков позволяет визуализировать данные, не прибегая к командам MATLAB. Кроме того, инструменты интерактивной среды могут быть использованы для редактирования существующих графиков, изменения свойств всех содержащихся на них объектов и манипулирования графиком, в частности, для осмотра поверхности со всех сторон. Эти вопросы, а также экспорт графических результатов и их печать описаны в *главе 4*.

Работа из командной строки, разумеется, не очень удобна и подходит только для решения простых задач. Выход состоит в использовании М-файлов, т. е. программ и функций, содержащих нужную последовательность команд MATLAB. Написание основных типов М-файлов (файл-программ и файл-функций) во встроенном редакторе разобрано в *главе 5*. М-файлы сохраняются на диске и запускаются на выполнение так же, как и другие команды и функции MATLAB, что позволяет расширять набор стандартных средств MATLAB и создавать собственные пакеты программ для решения специальных задач. Более того, подавляющее большинство функций MATLAB и Toolbox имеют открытый код, они запрограммированы в М-файлах, что дает опытному пользователю уникальную возможность разбираться в осо-

бенностях реализации алгоритмов и изменять их, приспособляясь к решению сложных специальных задач.

Вторая часть книги посвящена более сложным вопросам — применению численных методов и программированию собственных алгоритмов. Программирование в MATLAB не требует специальных знаний, достаточно понимать принципы алгоритмизации. Пользователи, имеющие опыт программирования на одном из алгоритмических языков, например, Basic, C или Pascal, легко освоят встроенный язык программирования, основанный на минимальном наборе конструкций.

Решение классических задач численными методами при помощи функций MATLAB требует, в отличие от программирования, знаний, как минимум в объеме программы технических вузов. Поиск корней и минимизация функций, интегрирование и интерполирование, решение задач линейной алгебры, обыкновенных дифференциальных уравнений и систем разобраны в *главе 6*. Вычислительные алгоритмы MATLAB допускают их настройку на получение результата с определенной точностью и задание ряда опций для управления ходом вычислений. Данный круг вопросов также освещается в *главе 6*.

*Глава 7* содержит описание основных конструкций языка программирования MATLAB, включая операторы ветвления и циклов. Описаны логические операции и логическое индексирование в применении к массивам, которые зачастую позволяют сократить объем программы и повысить ее эффективность.

Работа со строками, текстовыми файлами и специальными типами данных — массивами ячеек и структур — продемонстрирована в *главе 8* на нескольких содержательных примерах. В этой же главе описан простейший способ организации взаимодействия программы MATLAB с пользователем на основе интерфейса из командной строки. Несколько разделов *главы 8* информируют читателя о принципах написания файл-функций с переменным числом входных и выходных аргументов, поскольку подавляющее большинство функций MATLAB допускают именно такое универсальное обращение к ним. Уделено внимание созданию рекурсивных функций. Программирование сложных алгоритмов нередко требует их отладки. Редактор MATLAB содержит набор средств для отладки программ, использование которых также пояснено в *главе 8*.

Разработка в MATLAB программ, связанных с визуализацией данных, основана на управлении свойствами графических объектов прямо в ходе работы программы. Хорошо написанная программа не должна требовать от пользователя доработки графических результатов, к примеру, при помощи интерактивной среды для редактирования графиков. MATLAB является

объектно-ориентированной системой, все его графические объекты выстроены в некоторую иерархию и имеют определенные свойства. Полный доступ к свойствам всех графических объектов эффективно реализуется средствами дескрипторной графики. Глава 9 раскрывает принципы управления свойствами графических объектов и содержит описание основных свойств. Простые примеры, приведенные в главе 9, демонстрируют основные возможности, имеющиеся в распоряжении разработчика графических программ в системе MATLAB.

Третья часть книги предназначена для поэтапного обучения процессу создания приложений с графическим интерфейсом пользователя в среде GUIDE. Простота программирования и работы в среде GUIDE компенсируется потенциалом вычислительных и визуальных средств MATLAB и Toolbox. Разработка приложений с графическим интерфейсом пользователя в среде GUIDE занимает немного времени, но существенно облегчает и ускоряет проведение исследований.

В главе 10 на примере простого приложения показан процесс размещения элементов интерфейса в окне приложения и программирование событий. Следует иметь в виду, что обработка событий элементов управления требует понимания основ дескрипторной графики, которые изложены в главе 9.

Читая главу 11, вы продолжите работу над созданным приложением, пополняя его интерфейс флагами, переключателями, областями ввода и полосами скроллинга и программируя их с учетом обеспечения согласованной работы всех элементов управления.

О том, как снабдить собственное приложение диалоговыми окнами, меню, в том числе контекстными, сообщается в главе 12. Удобство работы с приложением во многом определяется хорошо продуманной структурой меню. Изменение структуры меню так же описано в этой главе.

Глава 13, завершающая третью часть книги, содержит некоторые дополнительные сведения о программировании событий графических объектов, например, щелчка мышью или нажатия клавиши, и ряде свойств, связанных с этими событиями.

Четвертая часть книги посвящена применению Toolbox для исследования некоторых специальных задач. Глава 14 раскрывает перед читателем возможности Toolbox Partial Differential Equations (PDE), позволяющего решать задачи математической физики, описываемые уравнениями в частных производных методом конечных элементов. Детально разобраны этапы решения задач в среде `pdetool` с графическим интерфейсом: описание геометрии области, задание уравнения и граничных условий, разбиение области

сеткой, поиск приближенного решения и визуализация результата. Разобраны примеры стационарных и нестационарных задач. Следует иметь в виду, что среда `pdetool` лишь облегчает доступ к большому набору функций `PDE Toolbox`. Непосредственное использование данных функций в собственных программах позволяет проводить более сложные исследования по сравнению с возможностями `pdetool`. В связи с этим в *главе 14* приведено описание форматов представления данных, связанных с реализацией метода конечных элементов в `PDE Toolbox`, и разобраны примеры использования функций `Toolbox`.

Решение многих современных сложных задач численными методами приводит к так называемым разреженным матрицам, т. е. матрицам, содержащим достаточно много нулевых элементов. Работа с разреженными матрицами в `MATLAB` с точки зрения пользователя происходит практически так же, как и с обычными. Разреженные матрицы принадлежат специальному классу, в котором обычные матричные операции переопределены в соответствии со спецификой разреженных матриц. *Глава 15* поясняет схему хранения, создание и операции с разреженными матрицами. Профайлер `MATLAB` позволяет отчетливо выявить преимущества учета структуры матрицы при решении задач линейной алгебры и матричного анализа, например таких, как факторизация матриц.

Решение различных типов линейных и нелинейных оптимизационных задач на основе функций `Optimization Toolbox` разобрано в *главе 16*. Эффективное использование оптимизационных алгоритмов для решения сложных задач требует понимания методов и умения работать с разреженными матрицами. Приведен пример решения большой системы нелинейных уравнений. Отдельный раздел *главы 16* посвящен написанию приложения с графическим интерфейсом пользователя для решения практически важной задачи о подборе параметров.

Исследователи, чья работа сопряжена с проведением большого количества аналитических выкладок и программированием модулей для соответствующих расчетов, несомненно, заинтересуются `Symbolic Math Toolbox`. Символьные вычисления основаны на мощном ядре `Maple`, при этом пользователь имеет доступ ко всем ресурсам `MATLAB`. *Глава 17* этой книги нацелена на обучение пользователя работе с символьными выражениями, включая упрощение, преобразование и вычисление с произвольной точностью. Отдельные разделы данной главы описывают технику решения задач в аналитическом виде, включая матричный анализ, суммирование, разложение в ряды, нахождение пределов функций и интегрирование, поиск решения дифференциальных уравнений и систем.

В главе 18 рассматривается приближение интерполяционными и сглаживающими сплайнами в Spline Toolbox. Сплайны могут быть сконструированы в *pp*-форме и *B*-форме. Описываются возможности задания различных граничных условий и их влияние на точность аппроксимации. Обсуждается ключевой момент в создании *B*-сплайнов — кратность узлов. Средства Toolbox позволяют приближать функции с различной степенью гладкости. Приводятся примеры построения кривых и поверхностей с помощью сплайнов.

Возможности аппроксимации табличных функций, реализованные в Curve Fitting Toolbox, излагаются в главе 19. Описываются способы предварительной обработки данных, основанные на регрессионном анализе и других методах для начальной фильтрации данных. Разобраны создание собственных параметрических моделей и использование одной из стандартных на примере рациональной или частичной суммы ряда Фурье. Материал этой главы позволит читателю выполнить непараметрическое приближение либо сглаживающими сплайнами, либо интерполяционными методами. Поясняется, как провести анализ результатов, включающий экстраполяцию табличной функции, интегрирование и дифференцирование полученного приближения.

Глава 20 знакомит читателя с возможностями решения экономических задач в Financial Toolbox. Рассмотрены вопросы анализа потоков платежей в различных сферах бизнеса. Иллюстрируется применение функций Toolbox для расчетов, связанных с обращением купонных и бескупонных облигаций. На примере модельных задач демонстрируются возможности по управлению портфелями рискованных ценных бумаг. Рассматриваются различные виды ограничений на состав портфеля и поясняются правила формирования и использования этих ограничений.

Последняя, пятая, часть книги охватывает несколько вопросов, которые могут быть полезны читателям с различными уровнями подготовки.

Глава 21 рассказывает об автоматической генерации отчетов и о работе с MATLAB в популярных форматах MS Word, MS Power Point, HTML и TeX. Интегрирование MATLAB с MS Word позволяет создавать в MS Word интерактивные документы (М-книги) для представления постановки задачи, методов и результатов расчетов в наглядной форме с использованием всех возможностей мощного текстового редактора MS Word и среды MATLAB. Читатель М-книги может запускать блоки команд MATLAB и получать текстовый и графический результат прямо в М-книге. Раздел "Совместная работа в MATLAB и MS Excel" главы 21 содержит информацию о конфигурировании MS Excel и организации совместной работы в MATLAB и MS Excel. Возможен не только обмен данными между средой MATLAB и таблицами MS Excel, но и вызов функций MATLAB, как из ячеек листа, так и из приложений на VBA.

Пользователям, которые имеют приложения с графическим интерфейсом, созданные в MATLAB версии 5.3, несомненно, окажется полезной информация о модернизации приложений в формат, принятый в новых версиях. Глава 22 описывает процесс преобразования приложений из формата *m/mat*, поддерживаемого в MATLAB 5.3, в формат *m/fig*, который используется в версиях, начиная с шестой.

Эффективное оперирование с данными большого объема в MATLAB подразумевает применение ряда приемов, которые описаны в главе 23. В ней обсуждаются: распределение памяти, преимущество встроенных поэлементных операций по сравнению с циклической организацией обработки данных и выбор данных подходящего типа. Работа пользователя MATLAB не ограничена только возможностями среды и модулей Toolbox. В пакет MATLAB входит библиотека функций MATLAB API, реализующих программный интерфейс приложений. Глава 23 содержит также основные сведения о MATLAB API и примеры интерфейса для внешних модулей, написанных на других языках программирования. В ряде случаев задействование внешних модулей повышает эффективность приложений MATLAB.

Основные функции MATLAB и ряда Toolbox, сгруппированные по категориям, приведены в *приложении 1*. Краткое описание различных вариантов вызова функций снабжено ссылками на соответствующие разделы книги, в которых обсуждается использование данных функций.

Для удобства работы с книгой все листинги приводимых программ занесены на прилагаемый компакт-диск, структура которого описана в *приложении 2*. Изложение материала в книге сопровождается примерами, а в конце некоторых глав приведены задания для самостоятельной работы.

Данная книга ни в кой мере не претендует на полноту изложения. Достаточно сказать, что документация по MATLAB и Toolbox весьма объемна, в частности, описание PDE Toolbox содержит около трехсот страниц, Optimization Toolbox — около четырехсот, а описание Statistics Toolbox превосходит девятьсот страниц. Следует иметь в виду, что справочная система позволяет не только научиться применять средства MATLAB для решения различных задач, но и разобраться в особенностях реализованных методов. Огромное количество сведений, содержащихся в документации и справочной системе, оказывается полезным для исследователей и инженеров, владеющих основами работы в MATLAB. Начинающий пользователь может просто запутаться в обилии информации. Поэтому часто мы приводим ссылки на разделы справочной системы для самостоятельного изучения материала.

Предлагаемая вашему вниманию книга предназначена для тех читателей, которые хотят изучить принципы вычислений и программирования в