

MatLab 5.3/6.x

САМОУЧИТЕЛЬ



Основы
программирования

Использование
графических
возможностей пакета

Решение
специальных задач

Интеграция
с MS Word и MS Excel



Дискета содержит
M-файлы примеров

**Эффективное средство для решения
математических задач**

Игорь Ануфриев

САМОУЧИТЕЛЬ

MatLab 5.3/6.x

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2002

Ануфриев И. Е.

Самоучитель MatLab 5.3/6.x. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 736 с.: ил.

ISBN 5-94157-107-0

Книга посвящена применению пакета MatLab для решения различных математических задач. Изложены основы программирования в MatLab. Подробно рассмотрены реализация численных методов, создание приложений с графическим интерфейсом пользователя, возможности специализированных модулей (ToolBox), связь MatLab с другими средами программирования, интегрирование с Word и Excel. Книга содержит большое количество последовательно усложняющихся примеров и задач.

Для исследователей и разработчиков

УДК 681.3.06

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Анатолий Адаменко</i>
Зав. редакцией	<i>Анна Кузьмина</i>
Редактор	<i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Смирновой</i>
Корректор	<i>Наталья Периакова</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульникова</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 29.03.02.

Формат 70×100¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 59,34.

Тираж 4000 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 198005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Гигиеническое заключение на продукцию, товар № 77.99.1.953.П.950.3.99 от 01.03.1999 г. выдано Департаментом ГСЭН Минздрава России.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в Академической типографии "Наука" РАН
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12.

Содержание

Введение	1
Часть I. Основы работы в MATLAB	15
Глава 1. Простейшие вычисления	17
Рабочая среда MatLab.....	17
Арифметические вычисления	19
Простейшие вычисления.....	19
Форматы вывода результата вычислений	20
Использование элементарных функций.....	23
Встроенные элементарные функции.....	27
Тригонометрические, гиперболические и обратные к ним функции	28
Экспоненциальная функция, логарифмы, степенные функции	28
Функции для работы с комплексными числами	29
Округление и остаток от деления.....	29
Использование переменных.....	30
Сохранение рабочей среды	32
Просмотр переменных.....	34
Глава 2. Работа с массивами	36
Основные определения и соглашения.....	36
Вектор-столбцы и вектор-строки.....	37
Ввод, сложение и вычитание векторов.....	37
Обращение к элементам вектора.....	40
Применение функций обработки данных к векторам	42
Поэлементные операции с векторами	44
Построение таблицы значений функции	47
Построение графиков функции одной переменной	50
Умножение векторов.....	54
Скалярное произведение	55
Векторное произведение.....	55
Внешнее произведение	56
Двумерные массивы, матрицы.....	57
Ввод матриц, простейшие операции.....	58

Различные способы ввода.....	58
Обращение к элементам матриц.....	59
Сложение, вычитание, умножение, транспонирование и возведение в степень.....	60
Перемножение матрицы и вектора.....	62
Решение систем линейных уравнений.....	62
Считывание и запись данных.....	63
Блочные матрицы.....	64
Конструирование блочных матриц.....	64
Выделение блоков.....	66
Удаление строк и столбцов.....	66
Заполнение матриц при помощи индексации.....	67
Создание матриц специального вида.....	68
Визуализация матриц.....	72
Поэлементные операции и встроенные функции.....	73
Поэлементные операции с матрицами.....	74
Вычисление математических функций от элементов матриц.....	75
Применение функций обработки данных к матрицам.....	76
Графики функций двух переменных.....	80

Глава 3. Высокоуровневая графика..... 83

Диаграммы и гистограммы.....	83
Представление векторных данных.....	83
Диаграммы векторных данных.....	83
Гистограммы векторных данных.....	89
Представление матричных данных.....	92
Графики функций.....	95
Графики функций одной переменной.....	96
Графики в линейном масштабе.....	96
Графики в логарифмических масштабах.....	98
Изменение свойств линий.....	99
Оформление графиков.....	101
Графики параметрических и кусочно-заданных функций.....	102
Графики функций двух переменных.....	104
Трехмерные графики функций.....	104
Контурные графики.....	109
Оформление графика.....	112
Поворот графика, изменение точки обзора.....	117
Построение параметрически заданных поверхностей и линий.....	119
Построение освещенной поверхности.....	122
Анимированные графики.....	123
Работа с несколькими графиками.....	125
Вывод графиков в отдельные окна.....	125
Вывод нескольких графиков на одни оси.....	127
Несколько графиков в одном графическом окне.....	129

Глава 4. Редактирование графиков	132
Редактирование графиков в MatLab 5.3	132
Изменение свойств осей, подписи, заголовков.....	132
Свойства линий	134
Дополнительные элементы оформления.....	135
Сохранение, экспорт и печать графиков.....	136
Редактирование графиков в MatLab 5.3 при помощи редактора свойств	138
Структура объектов в MatLab	138
Установка свойств объектов.....	141
Заголовок, подписи осей	141
Свойства линий и поверхностей.....	142
Свойства осей.....	144
Управление камерой.....	146
Свойства графического окна.....	148
Редактирование графиков в MatLab 6.x.....	148
Запуск редактора свойств.....	149
Свойства осей, подписи, заголовков	151
Пределы, масштаб, разметка, сетка.....	151
Подписи и заголовок	152
Свойства линий и поверхностей.....	153
Свойства линий	154
Свойства поверхностей	154
Дополнительные элементы оформления.....	156
Управление освещением графика.....	157
Изменение точки обзора	160
Сохранение, экспорт и печать.....	162
Глава 5. М-файлы	165
Работа в редакторе М-файлов	165
Типы М-файлов	167
Файл-программы	168
Установка путей.....	169
Установка путей в версии 5.3.....	169
Установка путей в версии 6.x.....	170
Команды для установки путей	172
Файл-функции.....	172
Файл-функции с одним входным аргументом	173
Файл-функции с несколькими входными аргументами	175
Файл-функции с несколькими выходными аргументами.....	176
Часть II. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ.....	177
Глава 6. Вычисления в MatLab	179
Исследование функций	179

Решение уравнений.....	179
Решение произвольных уравнений.....	179
Вычисление всех корней полинома	183
Минимизация функций.....	184
Минимизация функции одной переменной.....	184
Минимизация функции нескольких переменных	185
Задание дополнительных параметров	187
Интегрирование функций	189
Вычисление определенных интегралов.....	189
Вычисление двойных интегралов	191
Вычисление некоторых интегралов.....	192
Интегралы, зависящие от параметра.....	192
Интегралы с переменным верхним пределом	193
Полиномы и интерполяция	194
Операции с полиномами	194
Умножение, деление, сложение и вычитание	194
Вычисление производных.....	196
Интерполирование	196
Приближение по методу наименьших квадратов	197
Интерполяция сплайнами	198
Интерполяция двумерных и многомерных данных.....	200
Задачи линейной алгебры	202
Системы уравнений, определители, обращение матриц.....	202
Системы с плохо обусловленными матрицами	202
Переопределенные и недоопределенные системы	204
Обращение матриц	206
Собственные числа и векторы матрицы, функции матриц	207
Решение дифференциальных уравнений.....	209
Схема решения задач с начальными условиями.....	209
Решение уравнений Лотка—Вольтерра.....	212
Управление процессом решения	214
Солверы для решения задач с начальными условиями	214
Задание точности вычислений	215
Решение граничных задач	219
Схема решения.....	219
Простой пример граничной задачи	220

Глава 7. Основы программирования в MatLab..... 223

Операторы цикла.....	223
Цикл <i>for</i>	223
Цикл <i>while</i> , суммирование рядов.....	231
Операторы ветвления.....	234
Условный оператор <i>if</i>	234
Проверка входных аргументов	234
Организация ветвления.....	238
Оператор <i>switch</i>	244

Прерывания цикла, исключительные ситуации	247
Прерывание цикла, оператор <i>break</i>	247
Обработка исключительных ситуаций, оператор <i>try...catch</i>	248
Логические выражения с массивами и числами	249
Операции отношения	249
Логические операции	251
Приоритет операций	252
Логическое индексирование	253
Глава 8. Тонкости программирования.....	256
Работа со строками	256
Простейшие операции со строками	256
Ввод и сцепление строк	256
Сервисные функции для работы со строками	257
Массивы строк	260
Текстовые файлы	262
Открытие файла, считывание данных и закрытие файла	262
Запись в текстовый файл	265
Запись строк	265
Форматный вывод	268
Массивы структур и массивы ячеек	271
Массивы структур	271
Создание файл-функций для работы массивами структур	275
Запись данных массивов структур в текстовый файл	276
Считывание информации из текстового файла	278
Операции с массивами структур	282
Массивы ячеек	283
Приложения с интерфейсом из командной строки	288
Простой пример, программа-калькулятор	288
Формирование и исполнение команд, функция <i>eval</i>	292
Файл-функции с переменным числом аргументов	297
Функции от функций	305
Подфункции и приватные функции	309
Подфункции	309
Приватные функции	312
Глава 9. Дескрипторная графика	313
Графические объекты	313
Свойства графических объектов	314
Функции <i>set</i> и <i>get</i> , текущие объекты	314
Свойства осей	314
Свойства линий и поверхностей	317
Указатели на объекты	319
Изменение свойств линий и осей	320
Добавление линий графиков	322

Удаление и очистка объектов.....	323
Получение информации о свойствах	324
Использование указателей, примеры.....	324
Задание свойств в аргументах графических функций.....	327
Расположение графических окон и осей.....	328
Управление положением графических окон	328
Управление положением осей.....	331
Пример работы с графикой. Исследование функций	334
Размещение текстовой информации.....	336
Текстовые объекты	336
Размещение текста в графическом окне.....	341
Часть III. РАБОТА В СРЕДЕ GUIDE.....	343
Глава 10. Принципы создания приложений с GUI	345
Принципы создания приложений в версии 5.3.....	345
Среда разработки приложений GUIDE.....	345
Программирование событий в версии 5.3.....	348
Принципы создания приложений в версии 6.x.....	353
Среда GUIDE	353
Программирование событий в версии 6.x.....	355
Глава 11. Конструирование интерфейса в версии 5.3	360
Установка свойств объектов, функция <i>findobj</i>	360
Работа над приложением.....	364
Программирование событий в файл-функции	366
Программирование элементов интерфейса.....	368
Флаги.....	368
Переключатели	372
Списки.....	379
Полосы скроллинга.....	383
Область ввода текста.....	384
Глава 12. Конструирование интерфейса в версии 6.x	386
Управление свойствами объектов.....	386
Установка свойств при редактировании.....	386
Программное изменение свойств.....	387
Работа над приложением.....	389
Запуск приложения.....	389
Оформление интерфейса.....	390
Программирование элементов интерфейса.....	391
Флаги и рамки	391
Переключатели	395

Списки.....	402
Полосы скроллинга.....	406
Область ввода текста.....	408
Глава 13. Диалоговые окна и меню приложения.....	410
Виды диалоговых окон.....	410
Окно подтверждения.....	410
Окна открытия файла и записи в файл.....	411
Окно с сообщением об ошибке.....	413
Меню графического окна.....	414
Создание меню в редакторе в версии 5.3.....	414
Создание меню в редакторе в версии 6.x.....	417
Программирование пунктов меню в версии 5.3.....	419
Программирование пунктов меню в версии 6.x.....	420
Флаги состояния и разделительные линии.....	424
Пункты меню с флагами состояния.....	424
Разделительные линии.....	427
Упорядочение меню в версии 5.3.....	427
Контекстное меню объектов.....	430
Создание меню в версии 5.3.....	430
Создание меню в версии 6.x.....	431
Связывание контекстного меню с объектом.....	431
Программирование контекстного меню в версии 5.3.....	434
Программирование контекстного меню в версии 6.x.....	435
Глава 14. Программирование событий.....	437
Событие осей <i>ButtonDownFcn</i>	437
Размещение элементов интерфейса.....	437
Программирование приложения.....	438
События и свойства объектов в MatLab.....	443
Иерархия объектов.....	444
Объект <i>Root</i>	445
Объект <i>Figure</i>	445
Часть IV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ TOOLBOX.....	449
Глава 15. Решение задач математической физики.....	451
Простой пример.....	451
Постановка задачи.....	451
Среда <i>pdetool</i> , конструирование области.....	452
Определение уравнения и граничных условий.....	455
Решение и визуализация результата.....	457

Описание возможностей ToolBox PDE.....	460
Эллиптическое уравнение	460
Переменные коэффициенты и правая часть уравнения.....	461
Параболическое и гиперболическое уравнения.....	463
Пример нестационарной задачи.....	463
Задача на собственные значения.....	466
Системы дифференциальных уравнений.....	466
Параметры триангуляции и управление процессом решения.....	468
Конструирование геометрии области	469
Геометрические примитивы	469
Задание структуры области	471
Композитные материалы.....	472
Использование сетки	474
Использование функций ToolBox PDE	474
Задание геометрии области	474
Триангуляция.....	482
Граничные условия и коэффициенты уравнения.....	484
Солверы	486
Визуализация результата.....	488
Решение модельной задачи	489
Функции ToolBox PDE	492
Создание геометрических примитивов	492
Геометрия области и триангуляция	492
Глава 16. Разреженные матрицы	495
Работа с разреженными матрицами	495
Схема хранения	495
Создание разреженных матриц.....	497
Операции с разреженными матрицами	502
Задачи линейной алгебры	503
Факторизация матриц	504
Профайлер	507
Решение систем уравнений и исследование спектра.....	510
Глава 17. Оптимизация	512
ToolBox Optimization.....	512
Линейное и нелинейное программирование.....	512
Линейное программирование.....	512
Квадратичное программирование.....	514
Нелинейное программирование.....	515
Нелинейные задачи.....	517
Решение нелинейных уравнений.....	518
Метод наименьших квадратов.....	519
Подбор параметров.....	520
Параметры оптимизации	523

Примеры.....	525
Решение большой системы нелинейных уравнений.....	525
Пример приложения с GUI.....	529
Глава 18. Символические вычисления.....	535
Символические переменные и функции.....	535
Определение переменных и функций и работа с ними.....	535
Матрицы и векторы.....	537
Преобразование в числовые значения.....	539
Графическое представление функций.....	540
Упрощение и преобразование выражений.....	542
Решение задач.....	545
Задачи линейной алгебры.....	545
Суммирование и разложение в ряд.....	549
Пределы, дифференцирование и интегрирование.....	550
Решение уравнений и систем.....	556
Решение дифференциальных уравнений и систем.....	559
Часть V. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ MATLAB.....	563
Глава 19. Связь MatLab и MS Office.....	565
М-книги.....	565
Настройка MatLab и создание М-книги.....	565
Группировка ячеек.....	567
Управление М-книгой.....	569
Excel Link.....	571
Конфигурирование Excel.....	571
Обмен данными между MatLab и Excel.....	572
Обращение к основным функциям Excel Link.....	574
Функции Excel Link.....	576
Глава 20. Редактирование приложений с GUI версии 5.3 в версии 6.x.....	578
Пример приложения для MatLab 5.3.....	578
Модернизация приложения для версии 6.x.....	580
Сохранение приложения в формате FIG.....	580
Переход к форматам FIG и М.....	582
Глава 21. Повышение производительности приложений MatLab.....	586
Ускорение работы М-файлов.....	586
Поэлементные операции.....	586
Выделение памяти под массивы.....	589

Компилирование М-файлов	590
Конфигурирование MatLab Compiler.....	591
Компилирование файл-функций.....	592
Компилирование нескольких файл-функций.....	594
Работа с файл-программами.....	595
Генерация MEX-файлов.....	596
Простой пример, сложение двух чисел.....	596
Работа с комплексными переменными.....	600
Обмен массивами данных.....	602
Часть VI. Приложения.....	609
Приложение 1. Основные команды и функции MatLab и ToolBox.....	611
Управление средой, файлами и переменными.....	611
Получение справочной информации.....	611
Управление средой MatLab.....	612
Управление переменными.....	615
Манипулирование файлами и каталогами.....	616
Операторы и специальные символы.....	618
Логические операции и операторы.....	619
Побитовые операции.....	620
Логические функции.....	624
Программирование.....	627
Конструкции языка.....	627
Сервисные функции и переменные.....	628
Интерактивный ввод.....	631
Объектно-ориентированное программирование и преобразование типов.....	632
Функции даты и времени.....	632
Двоичные и текстовые файлы.....	633
Функции для работы с массивами ячеек.....	640
Функции для работы со структурами.....	644
Звуковые и графические файлы.....	647
Чтение, запись и преобразование звуковых данных.....	647
Графические файлы.....	649
Работа со строками.....	651
Обработка строк.....	651
Преобразования строка-число.....	655
Преобразование системы счисления.....	658
Работа с матрицами и массивами.....	659
Создание матриц и массивов.....	659
Операции с массивами.....	661
Математические функции.....	662
Специальные функции.....	662
Преобразование координат.....	667

Функции для решения задач линейной алгебры	667
Матричный анализ	668
Решение спектральных задач	670
Решение линейных уравнений, разложения и обращение матриц	671
Вычисление функций от матриц	674
Решение различных математических задач	674
Поиск корней	674
Интерполяция	676
Минимизация и оптимизация	677
Дифференцирование и конечные разности	678
Интегрирование	679
Решение дифференциальных уравнений и систем	680
Графика и визуализация данных	680
Двумерные графики	680
Трехмерные графики	683
Визуализация функции на прямоугольной области	696
Оформление графиков	699
Управление видом графика	702

Приложение 2. Описание дискеты	711
---	------------

Литература	712
-------------------------	------------

Введение

Пакет MatLab был создан компанией MathWorks более десяти 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, охватывает: матричный анализ, обработку сигналов и изображений, задачи математической физики, оптимизационные задачи, обработку и визуализацию данных, работу с картографическими изображениями, нейронные сети, нечеткую логику и многие другие. Специализированные средства собраны в пакеты, называемые ToolBox, и 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 и увеличивает объем знаний начинающего пользователя. Доступ из командной строки к кратким сведениям о встроенных функциях обеспечивает возможность 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 базу, 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.

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.

MatLab прекрасно интегрируется с Microsoft Word и Excel. Связь MatLab и Word обеспечивает возможность написания в редакторе Word интерактивных документов, так называемых М-книг, основанных на специальном шаблоне. Пользователь, работающий с М-книгой, может запускать блоки команд MatLab непосредственно из документа Word, причем результат выполнения команд отображается в М-книге. Данное средство прекрасно подходит для создания отчетов и учебных пособий, поскольку позволяет дополнить документ примерами и результатами расчетов.

Настройка Excel Link, поставляемая вместе с MatLab, существенно расширяет возможности 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.

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.

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.

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. Редактор графиков помогает оформить результат требуемым образом: добавить стрелки, поясняющие надписи, задать цвета и стиль линий и поверхностей, словом, получить изображение, пригодное для помещения в отчет или статью. Полный доступ к изменению свойств отображаемых графиков дают низкоуровневые функции, но их применение подразумевает понимание принципов компьютерной графики. Создание приложений MatLab с графическим выводом требует от програм-

миста умения управлять видом графиков при помощи низкоуровневых функций и средств дескрипторной графики.

В MatLab реализованы классические численные алгоритмы решения уравнений, задач линейной алгебры, нахождения значений определенных интегралов, интерполяции, решения дифференциальных уравнений и систем. Применение базовых вычислительных возможностей требует 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 достаточно 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.

MatLab является интерпретатором, т. е. каждая строка программы преобразуется в код и затем выполняется. Разумеется, интерпретирование команд существенно увеличивает время работы алгоритма, содержащего циклически повторяемые действия. Для повышения производительности вычислений в составе пакета имеется дополнительный модуль MatLab Compiler, который обеспечивает компиляцию программ, написанных на языке MatLab.

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 каждый со своими методами.

Программный интерфейс приложения (API) реализует связь среды MatLab с программами, написанными на C или Fortran. Библиотека программного интерфейса позволяет вызывать имеющиеся модули C или Fortran из среды или программ MatLab, обращаться к функциям MatLab из программ на C или Fortran, осуществлять обмен данными между приложениями MatLab и другими программами, создавать приложения типа клиент-сервер.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что начинающий пользователь MatLab может в процессе работы совершенствовать свои зна-

ния как в области моделирования и численных методов, так и программирования и визуализации данных.

Обзор возможностей MatLab представляет демонстрационная программа, для ее запуска следует набрать в командной строке, обозначаемой символом ">>", команду `demo` и нажать клавишу <Enter>. Появляется окно программы **MATLAB Demo Window**, приведенное на рис. В1.

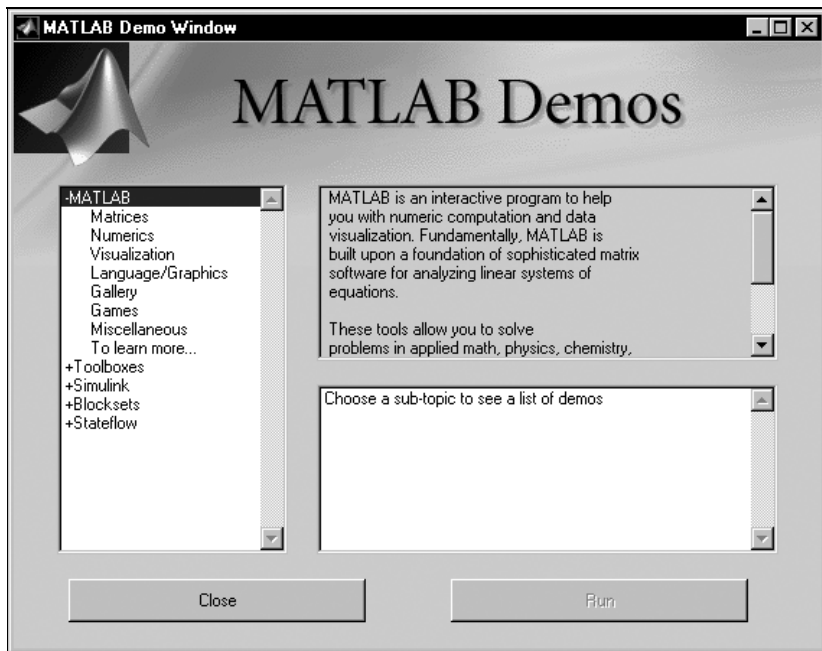


Рис. В1. Окно **MATLAB Demo Window**

Левое поле окна содержит разделы, охватываемые данной демонстрационной программой. При выборе раздела в правом нижнем окне отображаются доступные темы. Нажатие на кнопку **Run** приводит к появлению отдельного окна, предназначенного для показа возможностей MatLab, связанных с выбранной темой. К примеру, перейдите к **3-D Plots of complex functions** в разделе **Visualization** (в версии 5.3) или **Plots of complex functions** в разделе **Graphics** (в версии 6.x) и запустите демонстрацию, нажав на кнопку **Run 3-D Plots of...** Интерфейс появляющегося окна **Examples of Complex Functions Plots** достаточно прост. Выберите один из предлагаемых вариантов функции комплексной переменной при помощи соответствующей кнопки в правой части окна, к примеру **Square root**. На графике отображается риманова поверхность исследуемой функции, а в области **MiniCommandWindow** — команды MatLab, приводящие к визуализации этой поверхности (см. рис. В2).

Строки, начинающиеся со знака процента, являются комментариями. Оказывается, что для изучения поведения квадратного корня из комплексного аргумента достаточно использовать всего одну функцию `cplxroot`, разумеется, с подходящими аргументами.

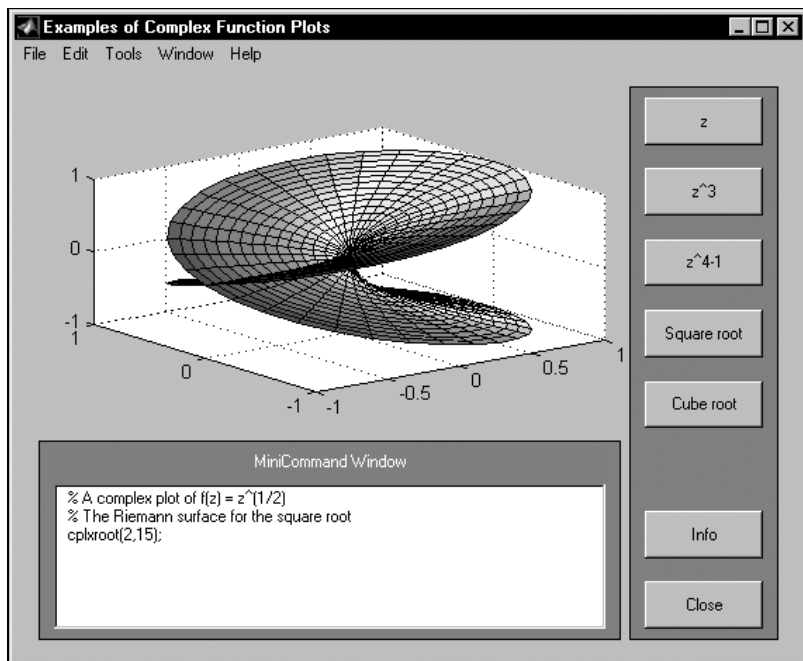


Рис. В2. Риманова поверхность квадратного корня

Двойной щелчок мышью по разделу **ToolBoxes** (со знаком плюс слева от названия) приводит к раскрытию списка подразделов. Темы каждого подраздела охватывают многие практически важные задачи, которые могут быть решены при помощи данного ToolBox. На самом деле возможности ToolBox MatLab значительно шире. Далее приведено краткое описание некоторых ToolBox. Команда `ver`, выполняемая из командной строки, выводит список всех установленных ToolBox с указанием их версий. Следует иметь в виду, что в MatLab 6.0 и 6.1 расширены возможности многих ToolBox по сравнению с версией 5.3.

Signal Processing Toolbox предназначен для исследования и обработки сигналов. Основными возможностями данного ToolBox являются:

- генерация, импорт и экспорт сигналов;
- разработка, анализ и применение фильтров с конечной и бесконечной импульсной характеристикой;

- спектральный анализ и статистическая обработка сигналов;
- моделирование линейных систем.

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.

Image Processing Toolbox содержит большое число функций цифровой обработки и анализа изображений, в частности:

- 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 **ToolBox Image Processing** входит несколько демонстрационных приложений, охватывающих решение задач о нахождении границ изображений, фильтрации и разработки фильтров, сжатии изображения.

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 **ToolBox Statistics**, включая:

- исследование линейных моделей;
- параметрическое оценивание;
- проверка гипотез;
- планирование эксперимента;
- задачи кластерного анализа

и др.

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

ToolBox Optimization 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.

ToolBox Partial Differential Equations (PDE) создан для исследования задач математической физики, описываемых дифференциальными уравнениями и системами в частных производных. 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, из различных областей науки, например таких, как:

- теория упругости;
- электростатика и магнитостатика;
- теплопроводность;
- теория диффузии.

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

В дополнение к вышеперечисленным средствам, следует подчеркнуть, что MatLab и соответствующие ToolBox 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. Специальный пакет направлен на поддержку процесса сбора аналоговой и цифровой информации при помощи внешних устройств.

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* описано использование переменных и вычисление арифметических выражений, изменение формата вывода чисел и основные встроенные математические функции. Название MatLab является сокращением от Matrix Laboratory, и первоначально пакет MatLab разрабатывался как средство доступа к библиотекам программ LINPACK и EISPACK, которые направлены на решение задач, связанных с матрицами и матричными вычислениями. Особенности представления данных в виде массивов, в частности матриц и векторов, дают пользователю широкие возможности по сравнению с большинством языков программирования. Большой набор специальных функций и средств унифицирует работу с массивами данных, делая ее очень эффективной. Отсутствие навыков оперирования с массивами приводит к многочисленным затруднениям, даже при решении самых простых задач. Поэтому *глава 2* книги подробно разъясняет принципы работы с матрицами и векторами, включая и основы визуализации векторных и матричных данных.

Пакет MatLab обладает чрезвычайно мощными возможностями графического представления одномерных и многомерных данных различных типов, включая и отображение функций. *Глава 3* нацелена на обучение читателя свободному владению средствами высокоуровневой графики для построения диаграмм и гистограмм, линий и поверхностей. Приведены команды, служащие для размещения и оформления графических результатов с целью получения хорошо читаемых графиков. Редактор графиков позволяет легко изменить многие свойства элементов, представленных на графике, по своему усмотрению, что существенно экономит время при подготовке различных документов, к примеру, отчетов. Отдельно описаны возможности редактирования графиков в версиях 5.3 и 6.x. Показано, как получить доступ ко всем свойствам графических объектов при помощи редактора свойств.

Работа из командной строки, разумеется, не очень удобна и подходит только для решения простых задач. Выход состоит в использовании M-файлов, т. е. программ и функций, содержащих нужную последовательность команд MatLab. Написание основных типов M-файлов (файл-программ и файл-функций) во встроенном редакторе разобрано в *главе 5*. M-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 M-файлах, что дает опытному пользователю уникальную возможность разбираться в особенностях реализации алгоритмов и изменять их, приспособившись 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 Basic, C или Pascal, легко осваивают встроенный язык программирования, основанный на минимальном наборе конструкций. Решение классических задач численными методами при помощи функций MatLab требует, в отличие от программирования, как минимум знаний, в объеме программы технических вузов. Поиск корней и минимизация функций, интегрирование и интерполирование, решение задач линейной алгебры, обыкновенных дифференциальных уравнений и систем разобрано в *главе 6*. Изложение сопровождается примерами с пояснениями.

Глава 7 содержит описание основных конструкций языка программирования MatLab, включая операторы ветвления и организации циклов. Описаны логические операции и логическое индексирование в применении к массивам. 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.

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 редактора графиков. MatLab является объектно-ориентированной системой, все 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 этой главе, демонстрируют основные возможности, имеющиеся в распоряжении разработчика графических программ в 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. *Глава 10* состоит из двух независимых разделов, каждый

из которых содержит необходимые сведения для начала работы в среде GUIDE в MatLab версии 5.3 и 6.x. 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. Главы 11 и 12* являются независимыми, читателю следует выбрать из них соответствующую установленной версии MatLab. По мере чтения данных глав, читатель модернизирует приложение с графическим интерфейсом, работа над которым была начата в *главе 10*. Приложение пополняется флагами, переключателями, областями ввода и полосами скроллинга, причем читатель получает сведения об особенностях обработки событий каждого из элементов интерфейса и обеспечении согласованной работы всех элементов управления. О том, как снабдить собственное приложение диалоговыми окнами, сообщается в *главе 13*. Удобство работы с приложением во многом определяется хорошо продуманной структурой меню. В этой же главе описано конструирование, упорядочение и программирование пунктов меню. *Глава 14*, завершающая третья часть книги, содержит некоторые дополнительные сведения о программировании событий графических объектов и иерархии этих объектов в MatLab.

Четвертая часть книги целиком посвящена применению ToolBox для исследования некоторых специальных задач. *Глава 15* 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`: 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 ToolBox PDE. Непосредственное использование данных функций в собственных программах позволяет проводить более сложные исследования, по сравнению с возможностями `pdetool`. В связи с этим, в *главе 15* приведено описание форматов представления данных, связанных с реализацией метода конечных элементов в ToolBox PDE, и разобраны примеры использования функций ToolBox.

Решение многих современных больших 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 16* 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 ToolBox Optimization разобрано в *главе 17*. Эффективное использование оптимизационных алгоритмов для решения больших задач основывается на знаниях методов и, в частности, на умении работать с разреженными матрицами. Приведен пример решения большой системы нелинейных уравнений. Отдельный раздел *главы 18* 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 ToolBox Symbolic Math. Символические вычисления основаны на мощном ядре Maple, при этом пользователь имеет доступ ко всем ресурсам MatLab. *Глава 18* книги нацелена на обучение пользователя работе с символическими выражениями, включая упрощение, преобразование и вычисления 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.

Последняя пятая часть книги охватывает несколько вопросов, которые могут быть полезны читателям с различными уровнями подготовки. *Глава 19* раскрывает возможности интегрирования MatLab с продуктами Microsoft Word и Excel. Описано создание в Word интерактивных документов (М-книг), позволяющих представлять постановку задачи, методы и результаты расчетов в наглядной форме с использованием всех возможностей мощного текстового редактора Word и среды MatLab. Второй раздел *главы 19* содержит информацию о конфигурировании Excel и организации совместной работы в MatLab и Excel. Возможен не только обмен данными между средой MatLab и таблицами Excel, но и вызов функций MatLab как из ячеек листа, так и из приложений на Visual Basic.

Пользователям, которые имеют приложения с графическим интерфейсом, созданные в версии 5.3, несомненно, окажется полезной информация о модернизации приложений в формат, принятый в новых версиях. *Глава 20* описывает процесс преобразования приложений из формата M/MAT, поддерживаемого в MatLab 5.3, в формат M/FIG, который используется в версиях, начиная с шестой. Переработка приложения достаточно проста, но требует понимания основ программирования дескрипторной графики в MatLab.

Работа пользователя MatLab не ограничена только возможностями среды и модулей ToolBox. В пакет MatLab входит компилятор MatLab Compiler и

библиотека функций MatLab API, реализующих программный интерфейс приложений. Последняя глава книги, *глава 21*, посвящена читателям, желающим повысить эффективность разрабатываемых приложений. Обычные программы, написанные на встроенном языке, интерпретируются MatLab, т. е. каждый оператор сначала преобразуется в машинный код, а затем выполняется. Эффективность многих приложений значительно увеличивается, если воспользоваться MatLab Compiler для генерации из М-файлов, так называемых, МЕХ-файлов. МЕХ-файлы вызываются из среды и других приложений MatLab точно так же, как и М-файлы, но во многих случаях работают в десятки и сотни раз быстрее. Программный интерфейс приложения позволяет использовать готовые модули на Fortran или С в приложениях MatLab. Не менее полезной оказывается возможность вызова функций MatLab из собственных программ на Fortran или С. Выбор оптимального сочетания ресурсов MatLab и собственных модулей позволяет достаточно быстро разработать средства решения многих сложных задач.

В настоящее время наиболее широко используется MatLab 5.3 и 6.0, недавно вышла версия 6.1. Пользователи, которые работали в версии 5.3, оценят более удобный интерфейс среды MatLab, появившийся, начиная с версии 6.0. Обновленная рабочая среда объединяет командное окно, историю команд и управление каталогами. Переход к справочной системе MatLab и ToolBox также осуществляется из рабочей среды. Сама гипертекстовая справочная система стала намного удобнее и полнее по сравнению с версией 5.3, в которой использовался браузер Web-страниц. К внешним отличиям версий 6.0 и 6.1 от 5.3 следует отнести более совершенный редактор и отладчик М-файлов, позволяющий, например, получать контекстный доступ к описанию команд, функций и операторов MatLab при помощи всплывающего меню. Создание приложений с графическим интерфейсом пользователя в среде GUIDE отличается в новых версиях MatLab по сравнению с 5.3, в частности используется другая схема организации файлов приложения. Среда GUIDE теперь автоматически генерирует М-файл с заголовками подфункций обработки событий объектов приложения.

Вышеперечисленные новшества касаются лишь "видимой части айсберга". Функции, реализующие некоторые численные методы (интегрирование, решение дифференциальных уравнений и задач матричного анализа), стали более эффективны. В состав пакета MatLab 6.0 вошли новые компоненты.

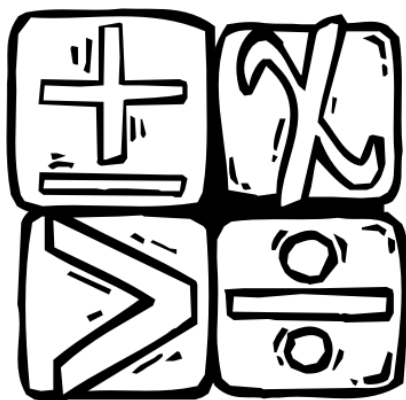
- ❑ Communications Blockset 2.0, расширяющий возможности Communications Toolbox 1.4, который входил в версию 5.3.
- ❑ Filter Design ToolBox 2.0, предоставляющий широкие возможности для разработки фильтров.
- ❑ Instrument Control ToolBox 1.0, позволяющий наладить интерфейс с внешними устройствами, подключаемыми к компьютеру через последовательный порт и универсальную шину интерфейса (GPIB).

- Simulink Performance Tools 4.0, расширяющий возможности пакета Simulink.
- Real-Time Workshop Embedded Coder, позволяющий оптимизировать С-код моделей, созданных при помощи пакета Simulink.

Представлены новые версии некоторых ToolBox. Появилось удобное средство для генерирования MEX-файлов из среды Microsoft Visual Studio.

MatLab 6.1 предлагает исследователям и разработчикам нелинейных динамических систем в среде Simulink технологию получения трехмерных анимационных моделей на основе языка моделирования виртуальной реальности VRML. В версии 6.1 улучшены некоторые математические алгоритмы, библиотека MatLab API пополнилась рядом функций для обеспечения интерфейса с модулями, написанными на языке Fortran. Несколько ToolBox в пакете MatLab 6.1 заменены обновленными версиями.

Данная книга ни в коей мере не претендует на полноту изложения. Достаточно сказать, что документация по MatLab и ToolBox весьма объемна, в частности, описание каждого из ToolBox PDE, Optimization составляет около трехсот страниц, для ToolBox Statistics — превосходит четыреста страниц. Описание ToolBox Signal Processing занимает почти восемьсот страниц. Следует иметь в виду, что информационная система позволяет не только научиться применять средства MatLab для решения различных задач, но и разобратся 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. Предлагаемая вашему вниманию книга предназначена для тех читателей, которые хотят изучить принципы вычислений и программирования в MatLab и освоить работу в некоторых ToolBox. Углубление знаний в области решения специализированных задач потребует от читателя достаточно много самостоятельной работы. Список литературы, касающейся программирования и решения задач в MatLab, приведен в конце книги.



ЧАСТЬ I

ОСНОВЫ РАБОТЫ В MATLAB

Глава 1. Простейшие вычисления

Глава 2. Работа с массивами

Глава 3. Высокоуровневая графика

Глава 4. Редактирование графиков

Глава 5. M-файлы

Глава 1



Простейшие вычисления

Данная глава посвящена описанию рабочей среды MatLab и вычислениям алгебраических выражений с использованием встроенных математических функций. Команды, с которых мы начнем, не очень длинные, поэтому для простоты будем работать из командной строки MatLab.

Рабочая среда MatLab

Рабочая среда MatLab 5.3 немного отличается от рабочей среды версии 6.x, однако принципиальных трудностей при изучении и программировании вычислений не возникает. Все вычисления в обеих версиях проводятся аналогично, но рабочая среда MatLab 6.x имеет более удобный интерфейс для доступа ко многим вспомогательным элементам MatLab.

При запуске MatLab 5.3 на экране появляется командное окно **MATLAB Command Window**, изображенное на рис. 1.1.

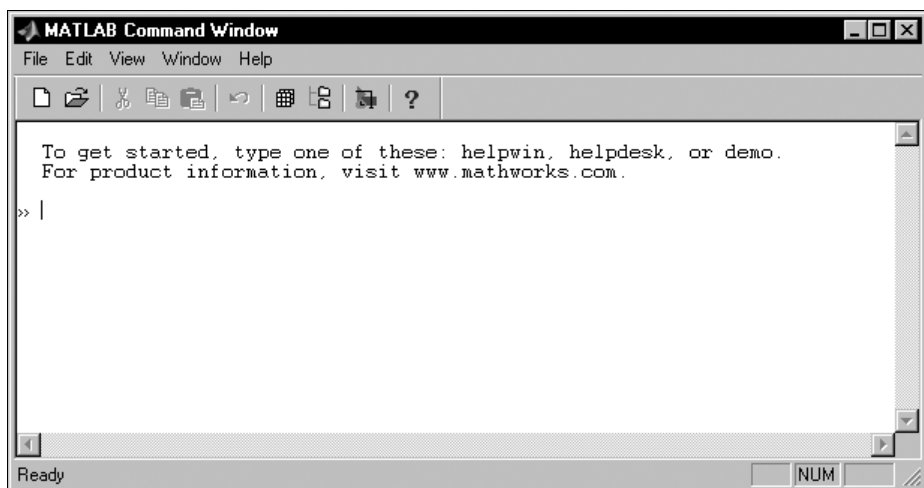


Рис. 1.1. Командное окно MatLab 5.3

Окно **MATLAB Command Window** состоит из следующих основных элементов:

- меню;
- панели с кнопками;
- рабочей области с командной строкой, в которой находится мигающий вертикальный курсор;
- строки состояния.

Все команды, описанные в этой главе, следует набирать в командной строке. Сам символ `>>`, обозначающий приглашение командной строки, приведенный в примерах, набирать не нужно. Для просмотра рабочей области удобно использовать полосы скроллинга или клавиши `<Home>`, `<End>` для перемещения влево или вправо и `<PageUp>`, `<PageDown>` для перемещения вверх или вниз. Про использование клавиш `<↑>`, `<↓>`, `<→>`, `<←>` будет сказано дополнительно. Если вдруг после перемещения по рабочей области командного окна пропала командная строка с мигающим курсором, просто нажмите `<Enter>`.

Важно запомнить, что набор любой команды или выражения должен заканчиваться нажатием на `<Enter>`, для того, чтобы программа MatLab выполнила эту команду или вычислила выражение.

Запуск MatLab 6.x приводит к открытию рабочей среды, изображенной на рис 1.2.

Замечание

Если в рабочей среде MatLab 6.x отсутствуют некоторые окна, приведенные на рис. 1.2, то следует в меню **View** выбрать соответствующие пункты: **Command Window**, **Command History**, **Current Directory**, **Workspace**, **Launch Pad**.

Рабочая среда MatLab 6.x предоставляет дополнительные удобства по сравнению с командным окном MatLab 5.3. Она содержит следующие элементы:

- меню;
- панель инструментов с кнопками и раскрывающимся списком;
- окно с вкладками **Launch Pad** и **Workspace**, из которого можно получить простой доступ к различным модулям ToolBox и к содержимому рабочей среды;
- окно с вкладками **Command History** и **Current Directory**, предназначенное для просмотра и повторного вызова ранее введенных команд, а также для установки текущего каталога;
- командное окно, работа в котором не отличается от работы в командном окне MatLab 5.3 (см. выше);
- строку состояния.