

Игорь Ануфриев  
Александр Смирнов  
Елена Смирнова



# МАТЛАВ 7

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

**Наиболее  
полное  
руководство**

+CD



**В ПОДЛИННИКЕ®**

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 Першакова</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульниковой</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. Дескрипторная графика .....</b>	<b>480</b>
Основы дескрипторной 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 Root.....	524
Объект Figure (графическое окно).....	525
Базовые объекты (Core Objects).....	527
Объекты Rectangle и Line, блок-схемы и диаграммы.....	527
Объект Patch, цветовое оформление объектов.....	531
Освещение объектов, объект Light (источник света).....	541
Управление объектами, копирование, поиск, скрытые указатели.....	545
Объекты-группы hggroup и hgtransform.....	553
Рисованные объекты (Plot Objects).....	557
<b>Часть III. ПРИЛОЖЕНИЯ С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ.....</b>	<b>561</b>
<b>Глава 10. Принципы создания приложений с GUI.....</b>	<b>563</b>
Среда GUIDE.....	564
Программирование событий.....	568
<b>Глава 11. Конструирование интерфейса.....</b>	<b>575</b>
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 MATLAB.....	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

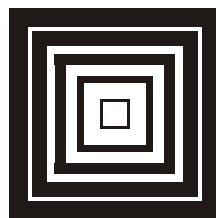
Композитные материалы .....	668
Использование сетки .....	669
Использование функций PDE Toolbox .....	670
Задание геометрии области .....	670
Триангуляция .....	678
Граничные условия и коэффициенты уравнения .....	680
Солверы .....	682
Визуализация результата .....	685
Решение модельной задачи .....	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>

# 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**

При запуске **MATLAB** на экране открывается рабочая среда **MATLAB**, изображенная на рис. 1.1.

Основными элементами рабочей среды являются:

- меню;
- панель инструментов с кнопками и раскрывающимся списком;
- окна с вкладками **Workspace** и **Current Directory** для просмотра переменных и установки текущего каталога;
- окно **Command Window**, служащее для ввода команд и вывода результата;
- окно **Command History**, предназначенное для просмотра и повторного выполнения ранее введенных команд (окно **Command History** может быть не пустым, если до этого пакет **MATLAB** использовался);
- строка состояния с кнопкой **Start**.

При нажатии на кнопку **Start** открывается меню, приведенное на рис. 1.2. С его помощью обеспечивается доступ ко всем основным средствам **MATLAB**.

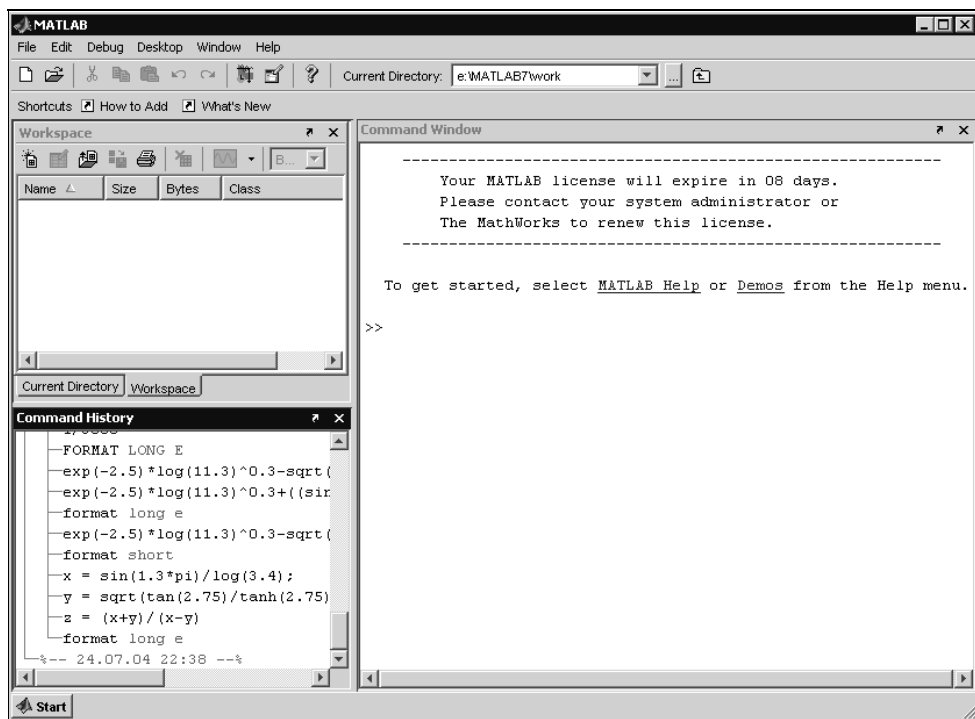


Рис. 1.1. Рабочая среда MATLAB

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

- заголовка с названием окна и двумя кнопками справа;
- рабочей области с командной строкой, в которой находится мигающий вертикальный курсор;
- полос скроллинга.

### Примечание

Если рабочая среда MATLAB выглядит не так, как изображено на рис. 1.1, то следует в меню **Desktop** выбрать пункт **Desktop Layout**, а затем в выпадающем меню пункт **Default** (По умолчанию). Пункты меню **Desktop** позволяют добавлять одноименные окна в рабочую среду или убирать их. Открытые окна в меню отмечены флагом.

В поле заголовка каждого окна рядом с кнопкой закрытия находится кнопка **Undock ...** для извлечения окна из рабочей среды MATLAB, если оно

встроено, или кнопка **Dock ...** для встраивания отдельного окна в рабочую среду. В следующих главах описано использование указанного средства для различных окон.

Все команды, описанные в этой главе, следует набирать в командной строке. Сам символ >> приглашения командной строки, приведенный в примерах, набирать не нужно. Для просмотра рабочей области командного окна 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.

### Примечание

При запуске пакета в рабочей области окна **Command Window** появляются две ссылки **MATLAB Help** и **Demos** для вызова справочной системы или демонстрационных примеров. Об использовании среды **Help** см. далее в этой главе.



Рис. 1.2. Раскрывающееся меню по кнопке **Start**



## Арифметические вычисления

Встроенные математические функции позволяют находить значения различных выражений. MATLAB предоставляет возможность управления форматом вывода результата. Команды для вычисления выражений имеют вид, свойственный всем языкам программирования высокого уровня.

### Простейшие вычисления

Выберите вид рабочей среды "по умолчанию", как было описано выше, наберите в командной строке  $1+2$  и нажмите <Enter>. В результате в командном окне MATLAB отображается следующее:

```
>> 1 + 2
ans =
     3
>> |
```

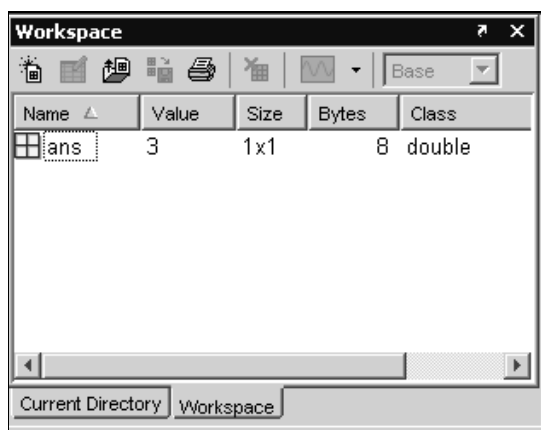
Что сделала программа MATLAB? Сначала она вычислила сумму  $1 + 2$ , затем записала результат в специальную переменную `ans` и вывела ее значение, равное 3, в командное окно. Переменная `ans` автоматически создается, когда вычисляемое выражение не присваивается некоторой переменной. Информация о переменной `ans` сразу же появилась в окне **Workspace** (рис. 1.3). В первом столбце **Name** записано имя переменной. Следующий столбец **Value** показывает значение переменной, если это возможно. Содержимое столбца **Size**, по существу, демонстрирует основной принцип работы MATLAB. Программа MATLAB *все данные представляет в виде массивов*. Переменная `ans` является двумерным массивом размера один на один и занимает 8 байт памяти, о чем свидетельствует столбец **Bytes**. Наконец, в последнем столбце **Class** указан тип переменной — `double array`, т. е. массив, состоящий из чисел двойной точности. Любой столбец можно скрыть или отобразить, если на заголовке окна щелкнуть правой кнопкой и вызвать контекстное меню.

#### Примечание

По умолчанию все числа представляются с двойной точностью (`double`). В главе 2 говорится об использовании других типов чисел.

В окне **Command Window** ниже ответа расположена командная строка с мигающим курсором, обозначающая, что среда MATLAB готова к дальней-

шим вычислениям. Можно набирать в командной строке новые выражения и находить их значения.



**Рис. 1.3.** Окно **Workspace** с информацией об использованных переменных среды

Если требуется продолжить работу с предыдущим выражением, например, вычислить  $(1+2)/4.5$ , то проще всего воспользоваться уже имеющимся результатом, который хранится в переменной `ans`. Наберите в командной строке `ans/4.5` (при вводе десятичных дробей используется точка) и нажмите `<Enter>`, получается:

```
>> ans/4.5
ans =
    0.6667
>> |
```

Вид, в котором выводится результат вычислений, зависит от формата вывода, установленного в MATLAB. Рассмотрим подробнее этот вопрос.

## Форматы вывода результата вычислений

Требуемый формат вывода результата определяется пользователем из меню рабочей среды MATLAB. Выберите в меню **File** пункт **Preferences**. На экране появится диалоговое окно **Preferences**, изображенное на рис. 1.4. Для установки формата вывода следует убедиться, что в списке левой панели выбран

пункт **Command Window** (как показано на рис. 1.4). Задание формата производится из раскрывающегося списка **Numeric format** панели **Text display**.

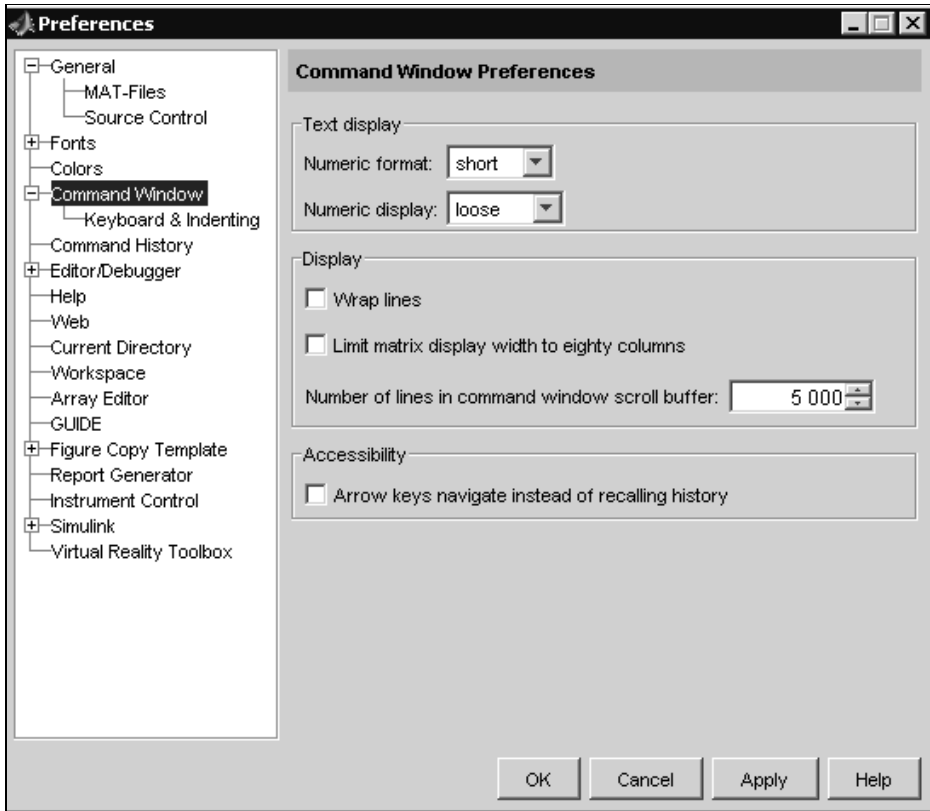


Рис. 1.4. Диалоговое окно Preferences MATLAB

Разберем пока только наиболее часто используемые форматы. Выберите **short** в раскрывающемся списке **Numeric format** на панели **Text display** диалогового окна. Закройте диалоговое окно, нажав кнопку **OK**. Сейчас установлен короткий формат с плавающей точкой `short` для вывода результатов вычислений, при котором на экране отображаются только четыре цифры после десятичной точки. Наберите в командной строке `100/3` и нажмите `<Enter>`. Результат выводится в формате `short`:

```
>> 100/3
ans =
    33.3333
```

Этот формат вывода сохранится для всех последующих вычислений, если только не будет установлен другой формат. Заметьте, что в MATLAB возможна ситуация, когда при отображении слишком большого или малого числа результат не укладывается в формат `short`. Вычислите  $10\,000/3$ , результат выводится в экспоненциальной форме:

```
>> 100000/3
ans =
    3.3333e+004
```

То же самое произойдет и при нахождении  $1/3000$ :

```
>> 1/3000
ans =
    3.3333e-004
```

Однако первоначальная установка формата сохраняется и при дальнейших вычислениях — для небольших чисел вывод результата снова будет происходить в формате `short`.

В предыдущем примере MATLAB вывела результат вычислений в *экспоненциальной форме*. Запись `3.3333e-004` обозначает  $3.3333 \cdot 10^{-4}$  или `0.00033333`. Аналогично можно набирать числа в выражениях. Например, проще набрать `10e9` или `1e10`, чем `10 000 000 000`, а результат будет тот же самый. Пробел между цифрами и символом `e` при вводе не допускается, т. к. это приведет к сообщению об ошибке:

```
>> 10 e9
??? 10 e9
      |
Error: Missing MATLAB operator.
```

Если требуется получить результат вычислений более точно, то следует выбрать на панели **Text display** в раскрывающемся списке **Numeric Format** значение **long**. Результат будет отображаться в длинном формате с плавающей точкой `long` с четырнадцатью цифрами после десятичной точки. Форматы `short` и `long` предназначены для вывода результата в экспоненциальной форме с четырьмя и пятнадцатью цифрами после десятичной точки соответственно. Информацию о форматах можно получить, набрав в командной строке команду `help` с аргументом `format`:

```
>> help format
```

В командном окне появляется описание каждого из форматов.

Задавать формат вывода можно непосредственно из командной строки при помощи команды `format`. Например, для установки длинного с плавающей

точкой формата вывода результатов вычислений следует ввести команду `format long e` в командной строке:

```
>> format long e
>> 1.25/3.11
ans =
  4.019292604501608e-001
```

Обратите внимание, что команда `help format` выводит на экран название форматов прописными буквами. Однако команда, которую надо ввести, состоит из строчных букв. К этой особенности встроенной справки `help` надо привыкнуть. MATLAB различает прописные и строчные буквы. Попытка набора команды прописными буквами приведет к ошибке:

```
>> FORMAT LONG E
???: Undefined command/function 'FORMAT'.
```

Для более удобного восприятия результата MATLAB выводит результат вычислений через строку после вычисляемого выражения. Однако иногда бывает удобно разместить больше строк на экране, для чего следует в диалоговом окне **Preferences** выбрать **compact** из раскрывающегося списка **Numeric display**. Добавление пустых строк обеспечивается выбором **loose** из раскрывающегося списка **Numeric display**.

### Примечание

Все промежуточные вычисления MATLAB производит с *двойной точностью*, независимо от того, какой формат вывода установлен.

## Использование элементарных функций

Предположим, что требуется вычислить значение следующего выражения:

$$e^{-2.5} \cdot (\ln 11.3)^{0.3} - \sqrt{\frac{\sin 2.45\pi + \cos 3.78\pi}{\operatorname{tg} 3.3}}$$

Введите в командной строке это выражение в соответствии с правилами MATLAB и нажмите <Enter>.

```
>> exp(-2.5)*log(11.3)^0.3 -
sqrt((sin(2.45*pi) + cos(3.78*pi))/tan(3.3))
```

Ответ выводится в командное окно:

```
ans =
-3.2105
```

При вводе выражения использованы встроенные функции MATLAB для вычисления экспоненты, натурального логарифма, квадратного корня и тригонометрических функций. В следующем пункте приведены часто употребляемые встроенные математические функции. Аргументы функций заключаются в круглые скобки, имена функций набираются строчными буквами. Для ввода числа  $\pi$  достаточно набрать `pi` в командной строке.

Арифметические операции в MATLAB выполняются в обычном порядке, свойственном большинству языков программирования:

- возведение в степень — `^`;
- умножение и деление — `*`, `/`;
- сложение и вычитание — `+`, `-`.

Для изменения порядка выполнения арифметических операторов следует использовать круглые скобки.

Если теперь требуется вычислить значение выражения, похожего на предыдущее, например

$$e^{-2.5} \cdot (\ln 11.3)^{0.3} + \left( \frac{\sin 2.45\pi + \cos 3.78\pi}{\operatorname{tg} 3.3} \right)^2,$$

то не обязательно снова набирать его в командной строке. Можно воспользоваться тем, что MATLAB запоминает все вводимые команды. Для повторного занесения их в командную строку служат клавиши `<↑>`, `<↓>`. Вычислите данное выражение, проделав следующие шаги.

1. Нажмите клавишу `<↑>`, при этом в командной строке появится введенное ранее выражение.
2. Внесите в него необходимые изменения, заменив минус на плюс и квадратный корень на возведение в квадрат (для перемещения по строке с выражением служат клавиши `<→>`, `<←>`, `<Home>`, `<End>`).
3. Вычислите измененное выражение, нажав `<Enter>`.

Получается

```
>> exp(-2.5)*log(11.3)^0.3 + ((sin(2.45*pi) + cos(3.78*pi))/tan(3.3))^2
ans =
121.2446
```

Если необходимо получить более точный результат, то следует выполнить команду `format long e`, затем нажимать клавишу `<↑>` до тех пор, пока в командной строке не появится требуемое выражение и вычислить его, нажав `<Enter>`.

```
>> format long e
>> exp(-2.5)*log(11.3)^0.3 - sqrt((sin(2.45*pi) + cos(3.78*pi))/tan(3.3))
ans =
-3.210497097863031e+000
```

Вывести результат последнего найденного выражения в другом формате возможно без повторного вычисления. Следует изменить формат командой, а затем посмотреть значение переменной `ans`, набрав ее в командной строке и нажав `<Enter>`:

```
>> format short
>> ans
ans =
-3.2105
```

При вычислениях возможны некоторые исключительные ситуации, например, деление на ноль, которые в большинстве языков программирования приводят к ошибке. При делении положительного числа на ноль в MATLAB получается `Inf` (бесконечность), а при делении отрицательного числа на ноль получается `-Inf` (минус бесконечность) и выдается предупреждение:

```
>> 1/0
Warning: Divide by zero.
ans =
Inf
```

При делении нуля на ноль получается `NaN` (не число) и также выдается предупреждение:

```
>> 0/0
Warning: Divide by zero.
ans =
NaN
```

При вычислении, например,  $\sqrt{-1}$  никакой ошибки или предупреждения не возникает. MATLAB автоматически переходит в область комплексных чисел:

```
>> sqrt(-1.0)
ans =
0 + 1.0000i
```

При наборе комплексных чисел в командной строке MATLAB можно использовать либо  $i$ , либо  $j$ , а сами числа при умножении, делении и возведении в степень необходимо заключать в круглые скобки:

```
>> (2.1 + 3.2i)*2 + (4.2 + 1.7i)^2
ans =
 18.9500 + 20.6800i
```

Если не использовать скобки, то умножаться или возводиться в степень будет только мнимая часть и получится неверный результат:

```
>> 2.1 + 3.2i*2 + 4.2 + 1.7i^2
ans =
 3.4100 + 6.4000i
```

Для вычисления комплексно-сопряженного числа применяется апостроф, который следует набирать сразу за числом, без пробела:

```
>> 2 - 3i'
ans =
 2.0000 + 3.0000i
```

Если необходимо найти комплексно-сопряженное выражение, то исходное выражение должно быть заключено в круглые скобки:

```
>> ((3.2 + 1.5i)*2 + 4.2 + 7.9i) '
ans =
 10.6000 - 10.9000i
```

MATLAB позволяет использовать комплексные числа в качестве аргументов встроенных элементарных функций:

```
>> sin(2 + 3i)
ans =
 9.1545 - 4.1689i
```

Как узнать, какие встроенные элементарные функции можно использовать и как их вызывать? Наберите в командной строке команду `help elfun`, при этом в командное окно выводится список всех встроенных элементарных функций с их кратким описанием. Более подробные сведения можно получить из обширной интерактивной справочной системы, выбрав в меню **Help** рабочей среды пункт **MATLAB Help**. Открывается окно справочной системы. В левой части окна на вкладке **Contents** приведено ее оглавление. Для просмотра содержимого какого-либо раздела в правом окне следует выбрать его название в левом окне при помощи щелчка мыши. Знак "+" слева от названия раздела служит для отображения его подразделов. Найдите



раздел **Functions -- Categorical List** (Функции по категориям), затем в подразделе **Mathematics** (Математика) — пункт **Elementary Math**. Перед вами список всех элементарных математических функций, имеющихся в MATLAB (рис. 1.5). Щелчок по гиперссылке с названием функции позволяет получить полную информацию о ней. Для перехода вперед и назад по просмотренным страницам справочной системы используйте кнопки со стрелками.

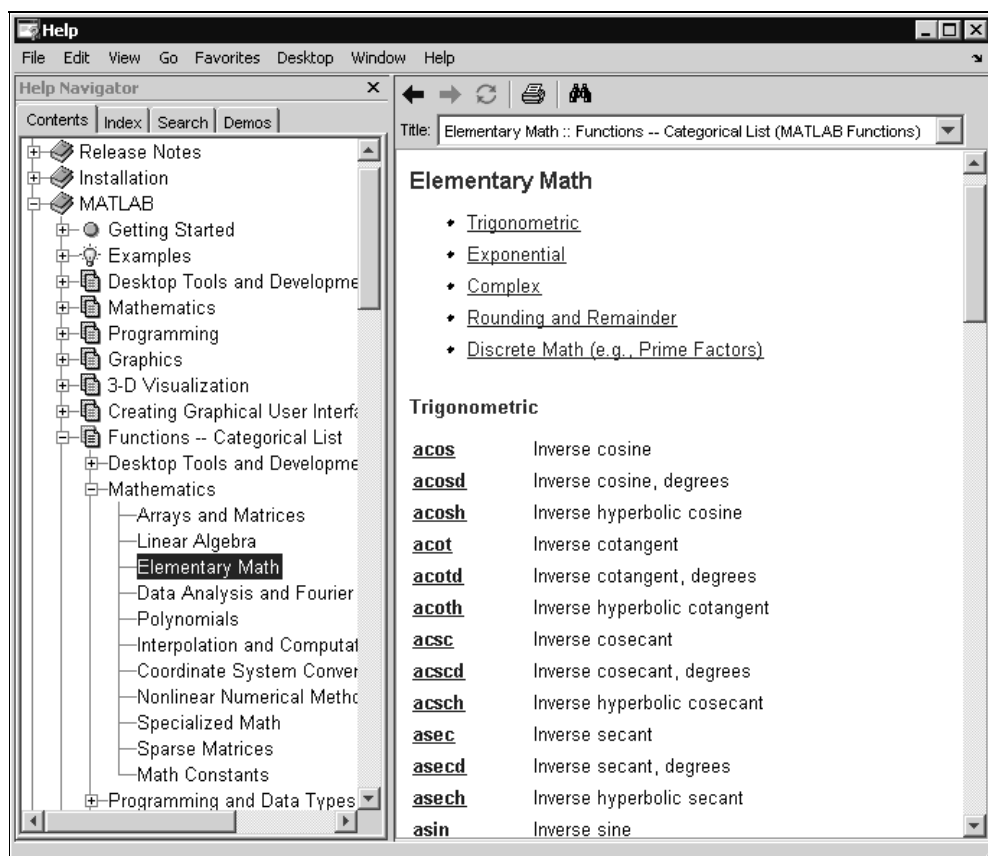


Рис. 1.5. Окно интерактивной справочной системы

### Примечание

Можно получить быстрый доступ к информации о функции, используя контекстное меню в окне **Command Window**. Для этого надо выделить имя