



МАТЛАВ 7

ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Интегральная
среда разработки

Графическое
представление данных

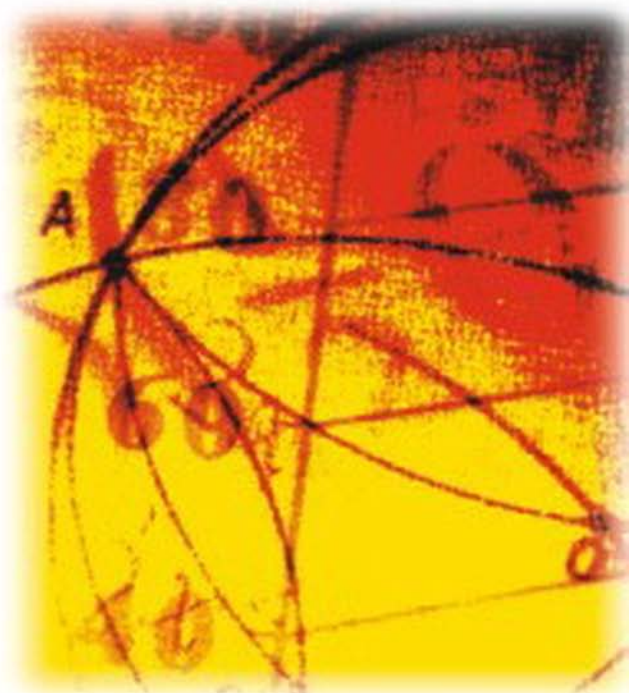
Программирование
вычислительных процессов

Визуализация
трехмерных объектов

Линейная алгебра

Численное
дифференцирование
и интегрирование

Нелинейные уравнения
и оптимизация



**Юлий Кетков
Александр Кетков
Михаил Шульц**

МАТЛАВ 7

ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2005

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2
К37

Кетков Ю. Л., Кетков А. Ю., Шульц М. М.

К37 **MATLAB 7: программирование, численные методы.** — СПб.:
БХВ-Петербург, 2005. — 752 с.: ил.

ISBN 5-94157-347-2

Книга посвящена описанию программных средств разработки математического обеспечения в среде MATLAB. Особое внимание уделяется вопросам проектирования пользовательских приложений, представления данных с максимальным использованием средств программирования и отладки приложений, а также увязке программ решения задач линейной алгебры, дискретной математики, математического анализа с основными идеями соответствующих алгоритмов.

Для инженеров, студентов и преподавателей вузов

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>Анна Кузьмина</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Смирновой</i>
Корректор	<i>Наталья Периакова</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульников</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 22.03.05.

Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 60,63.

Тираж 3000 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 ГУП "Типография "Наука"

199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 5-94157-347-2

© Кетков Ю. Л., Кетков А. Ю., Шульц М. М., 2005
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2005

Оглавление

Предисловие	1
Глава 1. Краткий обзор	3
1.1. Немного истории	3
1.2. Пакет MATLAB 7 и его расширения	5
Глава 2. Пошаговые вычисления в командном окне	13
2.1. Путешествие по среде MATLAB 7	13
2.2. Переменные рабочего пространства	20
2.3. Скаляры или массивы? Индексированные переменные	22
2.4. Выбор формата отображения числовых данных.....	25
2.5. Арифметические выражения.....	29
2.5.1. Некоторые свойства вещественных данных	29
2.5.2. Специфика использования комплексных величин	30
2.5.3. Числовые матрицы и векторы, специфика представления.....	33
2.5.4. Специфика выполнения арифметических и логических операций	37
2.5.5. Использование элементарных математических функций.....	39
2.6. Построение графиков функций одной переменной	43
2.6.1. Простые графики в декартовых координатах	43
2.6.2. График функции в полярных координатах	50
2.6.3. Использование логарифмического масштаба.....	52
2.6.4. Построение графика функции на заданном интервале	52
2.6.5. Средства управления в графическом окне	55
2.6.6. Редактирование графиков.....	60
Меню <i>Edit</i>	60
Меню <i>View</i>	67
Меню <i>Insert</i>	69
Меню <i>Tools</i>	69
2.6.7. Включение графиков в отчетную документацию.....	76
2.7. Деловая графика.....	77
2.7.1. Плоские столбиковые диаграммы	77
2.7.2. Объемные столбиковые диаграммы	81
2.7.3. Круговые диаграммы.....	83
2.7.4. Площадные диаграммы.....	86

Глава 3. Типы данных	89
3.1. Иерархия типов данных в MATLAB	89
3.1.1. Символьные массивы (char arrays)	90
3.1.2. Целочисленные данные в MATLAB.....	92
3.1.3. Вещественные данные с одинарной точностью (single arrays)	98
3.1.4. Разреженные матрицы (sparse arrays)	100
3.1.5. Структуры и массивы структур (struct arrays).....	101
3.1.6. Массивы ячеек (cell arrays).....	104
3.1.7. Массивы указателей на функции (function handle arrays).....	105
3.1.8. Логические массивы (logical arrays).....	106
3.1.9. Создание массивов из данных разного типа	107
3.2. Программа тестирования данных.....	108
3.3. Анализ типа данных и состояния элементов массивов	113
3.4. Редактирование массивов.....	119
Глава 4. Программирование вычислительных процессов	123
4.1. Скрипты и функции	123
4.2. Специфика выполнения операций.....	127
4.3. Синтаксис операторов MATLAB.....	127
4.4. Ввод числовых и символьных данных.....	133
4.5. Вывод результатов вычислений	134
4.6. Типы функций.....	135
4.7. Параметры функций	137
4.8. Функции <i>eval</i> и <i>feval</i>	144
4.9. Специфика работы в редакторе m-файлов.....	146
4.9.1. Меню <i>Text</i>	148
4.9.2. Меню <i>Debug</i>	149
4.9.3. Меню <i>Edit</i>	152
4.10. Отладочные команды	155
4.11. Анализ эффективности программы	160
Глава 5. Обработка символьных данных	165
5.1. Создание символьных объектов	165
5.2. Конкатенация строк.....	171
5.3. Сравнения символьных данных.....	174
5.4. Поиск и замена.....	178
5.5. Преобразования к верхнему и нижнему регистрам	183
5.6. Преобразования строк и чисел.....	183
5.7. Форматные преобразования (<i>sprintf</i> , <i>sscanf</i>)	192
5.8. Регулярные выражения и поиск.....	198
Глава 6. Работа с файлами	207
6.1. Подготовка файла к работе	209
6.2. Завершение работы с файлами	212

6.3. Контроль за исчерпанием данных.....	212
6.4. Работа с двоичными файлами.....	213
6.4.1. Чтение данных из двоичного файла.....	214
6.4.2. Запись в двоичный файл.....	220
6.5. Работа с текстовыми файлами.....	223
6.5.1. Последовательное чтение строк из текстового файла.....	224
6.5.2. Последовательное чтение нескольких символов из файла.....	224
6.5.3. Форматирование выводимой строки.....	225
6.5.4. Чтение данных из текстового файла.....	234
6.6. Форматные преобразования в оперативной памяти.....	238
6.7. Анализ ошибок в файловых операциях.....	238
6.8. Альтернативный доступ к текстовым файлам.....	239
6.9. Числовые файлы с разделителями.....	250
Глава 7. Иерархия графических объектов и их свойства.....	255
7.1. Объект <i>Root</i>	260
7.2. Объект <i>Figure</i>	266
7.3. Объект <i>Axes</i>	274
7.4. Объект <i>Line</i>	283
7.5. Объект <i>Rectangle</i>	287
7.6. Объект <i>Text</i>	291
7.7. Объект <i>Image</i>	298
7.8. Поиск объектов.....	312
Глава 8. Проектирование интерфейса.....	315
8.1. Динамическое создание интерфейсных элементов.....	321
8.1.1. Командная кнопка.....	328
8.1.2. Кнопка, фиксирующаяся в утопленном состоянии.....	335
8.1.3. Рамки, индикаторы альтернативных и неальтернативных комбинаций.....	336
8.1.4. Ввод, редактирование и отображение текстов.....	341
8.1.5. Списки строк.....	345
8.1.6. Полоса прокрутки.....	347
8.2. Создание всплывающего меню.....	350
8.3. Проектирование интерфейса в среде <i>GUIDE</i>	352
8.3.1. Вызов редактора <i>GUIDE</i>	353
8.3.2. Управление конструктором графического интерфейса.....	360
8.3.3. Размещение интерфейсных элементов.....	365
8.3.4. Инспектор свойств (<i>Property Inspector</i>).....	371
8.3.5. Просмотр объектов (<i>Object Browser</i>).....	372
8.3.6. Создание меню (<i>Menu Editor</i>).....	372
8.3.7. Анатомия файла, создаваемого в среде <i>GUIDE</i>	380
8.3.8. Использование контейнеров.....	387

Глава 9. Стандартные диалоговые окна.....	393
9.1. Диалоговое окно общего назначения (<i>dialog</i>)	394
9.2. Окно с сообщением об ошибке (<i>errorldg</i>)	395
9.3. Окно со справочной информацией (<i>helpdlg</i>)	396
9.4. Стандартное окно для ввода строк (<i>inputdlg</i>)	397
9.5. Окно выбора из списка (<i>listdlg</i>).....	399
9.6. Диалоговое окно с сообщением (<i>msgbox</i>)	402
9.7. Интерактивная настройка параметров страницы (<i>pagedlg</i>).....	403
9.8. Диалоговая страница (<i>pagesetupdlg</i>).....	405
9.9. Окно настройки параметров печати (<i>printdlg</i>)	406
9.10. Диалоговое окно с запросом (<i>questdlg</i>).....	408
9.11. Выбор имени файла для чтения (<i>uigetfile</i>).....	409
9.12. Выбор имени файла для записи (<i>uiputfile</i>)	412
9.13. Диалоговое окно для выбора цвета (<i>uisetcolor</i>)	413
9.14. Диалог по выбору параметров шрифта (<i>uisetfont</i>)	415
9.15. Диалоговое окно с предупреждением (<i>warnldg</i>)	416
9.16. Полоса прогресса	417
Глава 10. Визуализация трехмерных объектов.....	421
10.1. Некоторые задачи и алгоритмы трехмерной визуализации	421
10.1.1. Аффинные преобразования и однородные координаты	421
10.1.2. Растеризация векторных изображений	423
10.1.3. Воспроизведение утолщенных линий	424
10.1.4. Устранение невидимых частей изображения.....	424
10.1.5. Окрашивание граней полигональных моделей	425
10.2. Создание и отображение криволинейных поверхностей.....	427
10.2.1. Объект типа <i>Surface</i> и его свойства.....	427
10.2.2. Отображение проволочного каркаса поверхности.....	432
10.2.3. Отображение закрасненных поверхностей	436
10.2.4. Управление точкой зрения	437
10.2.5. Выбор алгоритма визуализации	438
10.2.6. Освещение поверхностей.....	440
10.2.7. Построение линий уровня.....	442
10.3. Формирование и отображение полигональных тел.....	448
10.3.1. Объект типа <i>Patch</i> и его свойства	448
10.3.2. Закрашивание объектов типа <i>Patch</i>	455
10.4. Специальные способы закраски. Прозрачность.....	460
10.4.1. Нанесение изображения на поверхность	460
10.4.2. Прозрачные поверхности.....	462
Глава 11. Полиномы	465
11.1. Представление полиномов	465
11.2. Операции над полиномами, представленными вектором коэффициентов.....	466

11.2.1. Значение полинома	466
11.2.2. Сложение и вычитание	467
11.2.3. Умножение и деление	468
11.2.4. Дифференцирование и интегрирование	469
11.2.5. Корни полинома	470
11.3. Операции над полиномами, заданными в символьном виде	471
11.3.1. Значение полинома	471
11.3.2. Сложение и вычитание	472
11.3.3. Умножение и деление	473
11.3.4. Дифференцирование и интегрирование	474
11.3.5. Корни и разложение полинома на множители	476
Глава 12. Линейная алгебра	479
12.1. Основные матричные операции	479
12.2. Скалярное и векторное произведение	481
12.3. Стандартные матрицы, фрагменты и блоки	487
12.4. Простые преобразования матриц	488
12.5. Некоторые классы матриц	490
12.5.1. Симметричные и кососимметричные матрицы	490
12.5.2. Эрмитовы и косоэрмитовы матрицы	490
12.5.3. Ортогональные (унитарные) матрицы	490
12.6. Специальные матрицы	490
12.6.1. Матрица Гильберта и обратная к ней	490
12.6.2. Матрица Адамара	491
12.6.3. Матрица Паскаля	491
12.6.4. Матрица Теплица	492
12.6.5. Матрица Ганкеля	492
12.6.6. Матрица Вандермонда	493
12.6.7. Магический квадрат	494
12.7. Разложение матриц	494
12.7.1. Разложение Эрмита	494
12.7.2. Скелетное разложение	496
12.7.3. LU-разложение	498
12.7.4. Разложение Холецкого	500
12.7.5. QR-разложение	500
12.7.6. Сингулярное разложение	503
12.7.7. Полярное разложение	504
12.7.8. Разложение Шура	505
12.7.9. Разложение Хессенберга	507
12.7.10. Разложение Жордана	509
12.8. Системы линейных уравнений	511
12.8.1. Основные понятия	511
Существование и единственность решения	511
Обратная и псевдообратная матрицы	511

12.8.2. Решение совместной системы	512
12.8.3. Псевдорешение несовместной системы	515
12.8.4. Некоторые приложения	517
Линейные матричные уравнения	517
Система уравнений с формируемой матрицей	519
12.9. Проблема собственных значений	522
12.9.1. Характеристический полином	522
Собственные векторы	523
12.9.2. Вычисление собственных значений	524
Случай кратных корней	525
Случай комплексных корней	526
12.9.3. Обусловленность матрицы	527
12.10. Линейная алгебра и новые типы данных	529
Глава 13. Интерполяция и аппроксимация	535
13.1. Интерполяционный полином	535
13.2. Сплайны	539
13.2.1. Стандартные сплайны MATLAB	543
13.2.2. Сглаженные сплайны	544
13.2.3. Сплайны с заданными условиями на концах	546
13.3. Параметрическая аппроксимация	549
13.4. Двумерная аппроксимация	553
13.4.1. Аппроксимация на прямоугольной сетке	553
13.4.2. Аппроксимация с помощью триангуляции	555
Глава 14. Численное дифференцирование и интегрирование	559
14.1. Конечные разности	559
14.2. Численное дифференцирование функций одной переменной	560
14.3. Численное дифференцирование функций двух переменных	562
14.4. Численное интегрирование	563
14.5. Задача Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений	572
14.6. Краевая задача для обыкновенных дифференциальных уравнений	580
14.7. Дифференциальные уравнения неявного типа	588
Глава 15. Нелинейные уравнения и оптимизация	595
15.1. Корень уравнения с одним неизвестным	595
15.2. Решение систем нелинейных уравнений	599
15.3. Минимизация унимодальной функции одной переменной	611
15.4. Многомерная безусловная минимизация	614
15.4.1. Функция <i>fminsearch</i>	614
15.4.2. Функция <i>fminunc</i>	618
15.4.3. Функция <i>lsqnonlin</i>	624
15.4.4. Функция <i>fminimax</i>	629

15.5. Условная минимизация	637
15.5.1. Функция <i>fmincon</i>	638
15.5.2. Функции <i>lsqnonlin</i> и <i>fminimax</i>	646
15.6. Управление итерационными процессами.....	649
Глава 16. Математическое программирование	653
16.1. Линейное программирование	653
16.2. Бинарное линейное программирование	658
16.3. Решение матричных игр	662
16.4. Квадратичное программирование.....	667
Глава 17. Метод Монте-Карло.....	675
17.1. Генерация случайных данных.....	676
17.2. Элементы математической статистики	677
17.3. Линейная интерполяция в многомерном кубе.....	678
17.4. Вычисление кратных интегралов.....	683
17.5. Решение уравнений в частных производных	686
17.6. Моделирование случайных процессов.....	695
17.7. Случайный поиск	699
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	705
Приложение 1. Помощь в системе MATLAB	707
Поиск по ключевым словам	708
Использование Help-навигатора	710
Поиск функций	713
Приложение 2. Указатель свойств графических объектов	715
Литература и интернет-источники.....	723
MATLAB.....	723
Методы вычислений	725
Интернет	727
Предметный указатель	728

Предисловие

Система MATLAB представляет собой уникальный сплав универсальных программных и алгоритмических средств с широкой гаммой специализированных приложений. Входной язык и среда программирования MATLAB очень близки к современным системам визуального программирования на базе универсальных алгоритмических языков типа Basic, C++, Java, Object Pascal. По ряду аспектов MATLAB уступает указанным системам (режим интерпретации, небольшой запас визуальных компонентов). Однако с его библиотекой численных методов ни по объему, ни по качеству не может сравниться ни одна из систем программирования. Кроме того, в пакете MATLAB тщательно отработаны средства визуализации результатов вычислений и отображения различных графических объектов. На базе ядра MATLAB созданы многочисленные расширения, обеспечивающие моделирование и анализ систем в разнообразных сферах человеческой деятельности.

Многие учебные заведения у нас и за рубежом используют MATLAB при подготовке специалистов различного профиля. Для современного инженера и научно-технического работника MATLAB является незаменимым инструментом моделирования и исследования различных прикладных систем, прежде всего, за счет использования готовых решений. Но не менее важно научиться создавать новые приложения, используя программные и алгоритмические средства MATLAB, а также возможность объединения модулей, разработанных в разных системах программирования. Использование системы MATLAB в учебном процессе позволит сблизить дисциплины, связанные с информатикой и численными методами, которые зачастую читаются автономно.

Авторы выражают признательность М. В. Шашкову, который на протяжении ряда лет успешно использует систему MATLAB для проектирования и исследования сложных динамических систем. Именно он привлек наше внимание к выразительности программных средств и богатству численных методов пакета MATLAB. Мы очень обязаны и нашим коллегам, специализирующимся в различных разделах прикладной математики, которые помогли нам в формировании глав, связанных с численными методами, и в под-

боре соответствующих приложений. Среди них преподаватели факультета ВМиК Нижегородского университета — М. А. Антонец, А. И. Гавриков, С. Ю. Городецкий, Н. В. Дерендяев, В. А. Зорин, А. П. Мальцев, В. П. Савельев. Особой благодарности заслуживает А. И. Кузнецов — сотрудник научно-исследовательского института прикладной математики и кибернетики Нижегородского университета, который тщательно прочитал рукопись и проверил практически все примеры программ. Многие его замечания были учтены при подготовке настоящего издания.

Глава 1



Краткий обзор

Пакет MATLAB 7 — последняя версия одного из наиболее популярных продуктов фирмы MathWorks, появившаяся на рынке программного обеспечения в июне 2004 г. Его основное назначение — моделирование, анализ и визуализация динамических процессов, имеющих отношение к разнообразным сферам человеческой деятельности.

1.1. Немного истории

Историю появления пакета MATLAB связывают с именем профессора Клива Б. Моулера (Cleve B. Moler). До перехода в фирму MathWorks он занимался преподавательской и научно-исследовательской деятельностью на кафедрах математики и в компьютерных центрах ряда университетов США (Нью-Мехико, Мичиган, Стэнфорд). Он соавтор ряда книг, переведенных на русский язык ([66, 67]). Примерно 30 лет назад Моулер принимал участие в разработке пакетов программ на языке Fortran для решения задач линейной алгебры (LINPACK) и исследованиях проблемы собственных значений матриц (EISPACK). В 1980 г. на международной конференции AFIPS он представил доклад "Design of an interactive matrix calculator", в котором, по-видимому, впервые было озвучено название MATLAB. В реферативном журнале "Автоматика и вычислительная техника" (реферат 6Б200 за 1980 г.) по поводу этого доклада появилась следующая аннотация:

"Приведено формальное описание (с помощью синтаксических диаграмм) входного языка интерактивной программы MATLAB, предназначенной для матричных вычислений. Программа MATLAB обрабатывает прямоугольные матрицы, элементами которых являются комплексные числа. Данные вводятся либо перечислением элементов, либо в цикле при помощи операторов FOR и WHILE, либо считыванием из внешнего файла, либо после выполнения внешней программы. Для выполнения матричных вычислений помимо 37 встроенных функций программы MATLAB предусмотрен простой способ обращения к пакету ПП EISPACK (70 программ выполнения матричных вычислений) и пакету

LINPACK (40 программ анализа и решения систем линейных алгебраических уравнений) и связанных с ними матричных вычислений. Программа написана на языке Fortran и может работать под управлением любой системы, допускающей выполнение программ в диалоговом режиме".

Второе рождение пакета MATLAB связывают с Джеком Литтлом (Jack Little) — нынешним президентом фирмы MathWorks, который в начале 80-х годов прошлого века перенес программу MATLAB на более современные вычислительные платформы VAX, Macintosh и IBM PC. Дальнейшее развитие пакета происходило под эгидой MathWorks, однако к расширению состава пакета и сфер его применения были привлечены коллективы высококвалифицированных математиков и инженерно-технических работников Старого и Нового света. Об этом свидетельствуют ссылки на многочисленные книги и перечень благодарностей, которые можно обнаружить в справочных файлах по всем продуктам пакета. С момента основания фирмы (1984 г.) К. Моулер является ее бессменным научным руководителем. Модернизацию и программное сопровождение пакета MATLAB обеспечивают более 1000 сотрудников MathWorks.

К концу 2004 г. реализации пакета MATLAB насчитывают следующие версии:

1. MATLAB 5 — декабрь 1996 г.
2. MATLAB 5.1 — май 1997 г.
3. MATLAB 5.3 (Release 11, R11) — январь 1999 г.
4. MATLAB 6.0 (R12) — ноябрь 2000 г.
5. MATLAB 6.1 (R12.1) — июнь 2001 г.
6. MATLAB 6.5 (R13) — июнь 2002 г.
7. MATLAB 6.51 (R13SP1) — август 2003 г.
8. MATLAB 7.0 (R14) — июнь 2004 г.

Пакет MATLAB распространяется в двух модификациях — профессиональная версия и облегченный вариант, ориентированный на использование в учебном процессе. На самом деле даже в профессиональной версии некоторые расширения пакета приобретаются по отдельной лицензии.

В нашей стране информация по вопросам использования и распространения пакета доступна на сайтах www.softline.ru, www.matlab.ru и www.exponenta.ru. Регулярные научные семинары, посвященные возможностям пакета MATLAB, проводятся Институтом Проблем Управления РАН РФ и Консультационным центром MATLAB компании Softline.

О популярности пакета MATLAB свидетельствуют более 600 монографий, учебных и практических пособий, изданных за рубежом. Отечественная ли-

тература насчитывает примерно в 15 раз меньше наименований (*см. список литературы и интернет-источников*).

Одной из наиболее важных особенностей пакета MATLAB является его открытость. В его комплекте поставляется довольно много исходных текстов программных модулей — функций, тестовых примеров. Это предоставляет возможность пользователям разобраться в алгоритмах, модифицировать их для своих приложений и расширять сферу применения пакета.

1.2. Пакет MATLAB 7 и его расширения

Перечислим принципиальные новинки MATLAB 7:

- ❑ 12 новых компонентов, расширяющих сферу приложений пакета MATLAB и повышающих функциональные возможности прежних компонентов;
- ❑ 28 компонентов предыдущей версии подверглись существенной модификации;
- ❑ в ряде приложений (линейная алгебра, быстрые преобразования Фурье, моделирование в среде Simulink) реализована поддержка вычислений с вещественными данными одинарной точности;
- ❑ появилась возможность обрабатывать целочисленные массивы большой размерности за счет использования целочисленной арифметики;
- ❑ существенно изменен интерфейс среды MATLAB и некоторых сервисных систем;
- ❑ расширились возможности по управлению графическими окнами;
- ❑ исправлены замеченные ошибки.

Полный перечень нововведений и исправлений составляет документ "MATLAB 7.0 Release Notes" объемом 274 с.

Пакет MATLAB 7 предъявляет повышенные требования к PC-совместимому оборудованию и программному обеспечению:

- ❑ персональный компьютер на базе процессоров Pentium III, Pentium 4, Pentium M, Xeon, AMD Athlon, Athlon XP, Athlon MP;
- ❑ операционная система Microsoft Windows XP, Windows NT 4.0 (Service Pack 5 или 6a), Windows 2000 (Service Pack 3 или 4);
- ❑ CD-ROM для инсталляции с оптического диска;
- ❑ оперативная память не менее 256 Мбайт (рекомендуется 512 Мбайт);
- ❑ размер дисковой памяти зависит от количества установленных расширений и объема документации в формате PDF. Программа установки информирует вас об объеме дисковой памяти, необходимой для включения

того или иного компонента пакета. В средней комплектации MATLAB займет на винчестере порядка 1 Гбайт;

- ❑ монитор с поддержкой минимум 256 цветов, рекомендуется графический адаптер (16, 24 или 32 битов), поддерживающий стандарт OpenGL.

В состав дополнительных рекомендаций входят:

- ❑ операционная система должна поддерживать карту графического ускорителя, принтер и звуковую карту;
- ❑ Microsoft Word (Office 2000) или Office XP необходимы для функционирования MATLAB Notebook;
- ❑ протокол TCP/IP требуется на всех платформах для использования лицензионного сервера.

Для генерации собственных тех-файлов понадобится один из следующих трансляторов:

- ❑ Compaq Visual Fortran (версии 5.0, 6.1 или 6.5);
- ❑ Microsoft Visual C/C++ (версии 5.0, 6.0 или 7.0);
- ❑ Borland C/C++ (версии 5.0 или 5.02);
- ❑ Borland C++Builder (версии 3.0, 4.0, 5.0 или 6.0);
- ❑ WATCOM (версии 10.6 или 11);
- ❑ Lcc 2.4 (bundled with MATLAB).

Для чтения и/или печати online-документации потребуется Netscape Navigator (версия 4.0 или выше) или Microsoft Internet Explorer (версия 4.0 или выше), Adobe Acrobat Reader (версия 3.0 или выше).

Одним из наиболее важных приложений пакета MATLAB является проектирование, имитация и анализ различных динамических систем. До появления первых цифровых вычислительных машин (ЦВМ) большинство задач, связанных с созданием и исследованием различных систем автоматического регулирования, решались на аналоговых вычислительных машинах (АВМ). В основе АВМ лежали динамические аналогии между поведением различных акустических, электрических и механических звеньев, описываемых однотипными системами дифференциальных уравнений. АВМ представляли собой набор электронных блоков (усилителей, сумматоров, умножителей, интеграторов, задержек и различных нелинейностей), которые с помощью коммутационной панели соединялись в схему, эквивалентную исследуемой конструкции. А затем с помощью осциллографов и самописцев фиксировалось и изучалось поведение напряжений и токов в различных узлах электрической модели исследуемого объекта.

В середине 50—60-х годов прошлого столетия пользовались большой популярностью настольные интеграторы типа ИПТ-5 и МПТ-9, относительно небольшие лабораторные установки ЭМУ-8, ЭМУ-10 и такие гиганты, как

МН-8, занимавшие площади по 60—80 кв. м. Самой главной оценкой мощности АВМ был максимальный порядок системы дифференциальных уравнений, которую можно было собрать из имеющихся блоков. И колебался он в диапазоне от 5—6 до 30—40. К основным недостаткам АВМ относились большая трудоемкость в коммутации блоков, нестабильность их поведения (дрейф нуля усилителей), относительно малая точность результатов и затяжной характер исследования. Однажды собранная и отлаженная схема коммутации блоков должна была сохраняться на протяжении времени исследования данной системы. На более поздних АВМ появились сменные коммутационные панели. Повышению эффективности моделирования содействовали гибридные аналого-цифровые вычислительные системы (ГВС "Русалка"). Однако точность вычислений, обеспечиваемая аналоговыми компонентами, оставляла желать лучшего.

Пакет Simulink, самый родной среди расширений системы MATLAB (кнопка для его запуска вынесена на панель инструментов системы), повторяет идею АВМ на самом современном уровне. Он использует богатую библиотеку динамических звеньев с различными передаточными функциями, располагает визуальными средствами сборки эквивалентной модели, обладает большим набором вычислительных алгоритмов, обеспечивает высокую точность и качественное отображение характеристик изучаемых процессов. Наибольшее количество отечественных публикаций посвящено именно этому пакету [1, 2, 7, 8, 12, 14, 19, 20, 39]. На его базе построено довольно много расширений системы MATLAB. Их наименования, как правило, включают фирменную аббревиатуру *Blockset*, что можно трактовать как набор блоков — моделей (файлы с расширением mdl), участвующих в конструировании моделируемых систем.

Другие расширения MATLAB используют более распространенную аббревиатуру *Toolbox* (дословно — ящик с инструментами). Как правило, основными компонентами таких расширений являются средства решения различных задач — математические методы, визуализация результатов вычислений. Большая часть этих приложений представлена m-файлами — программами на входном языке MATLAB.

Полный перечень дополнительных компонентов версии MATLAB 7 приведен в табл. 1.1. Некоторые из них являются автономными продуктами, другие эксплуатируются в комбинации с определенным подмножеством расширений. По номеру версии компонента можно судить как о его "возрасте", так и об интенсивности его поддержки. Из приведенного перечня видно, что старейшими приложениями системы MATLAB являются средства обработки сигналов, моделирования управляющих систем, имитации различных устройств в режиме реального времени. В первой колонке символом * отмечены компоненты, подвергшиеся серьезной модификации. Новые компоненты отмечены символами **.

Таблица 1.1

№ п/п	Компонент MATLAB	Назначение
1*	Simulink, ver 6.0	Моделирование и анализ динамических систем
2	Aerospace Blockset, ver 1.6	Моделирование летательных аппаратов, ракет и двигательных установок (на базе Simulink)
3**	Bioinformatics Tool- box, ver 1.1	Математические методы анализа экспериментальных данных в биологии и генетике
4	CDMA Reference Blockset, ver 1.1	Проектирование и моделирование беспроводных коммуникационных систем в соответствии со стандартом IS-95A (code division multiple access, CDMA)
5*	Communications Blockset, ver 3.0	Библиотеки функций для Communications Toolbox (модуляция, кодирование, декодирование)
6*	Communications Tool- box, ver 3.0	Разработка коммуникационных систем и их моделирование в реальном масштабе времени
7	Control System Tool- box, ver 6.0	Моделирование, анализ и проектирование систем автоматического регулирования с обратной связью
8	Curve Fitting Toolbox, ver 1.1.1	Обработка экспериментальных данных (аппроксимация, сглаживание, интерполяция, экстраполяция)
9	Data Acquisition Tool- box, ver 2.5	Среда для поддержки измерительных комплексов, подключенных к персональному компьютеру (ПК). Организация обмена данными с аналоговыми и цифровыми подсистемами, включая цифроаналоговые преобразования
10*	Database Toolbox, ver 3.0	Анализ и визуализация информации, хранящейся в базе данных (БД). Отбор данных с использованием запросов на языке SQL
11	Datafeed Toolbox, ver 1.5	Организация связи с серверами финансовых данных
12	Dials & Gauges Block- set, ver 1.2	Библиотека графических примитивов для формирования панелей управления с изображениями различных шкал и измерительных приборов
13	Embedded Target Infineon C166 Micro- controllers, ver 1.1	Проектирование и моделирование измерительно-управляющих комплексов на базе микроконтроллеров C166
14	Embedded Target for Motorola HC12, ver 1.1	Проектирование и моделирование измерительно-управляющих комплексов на базе микроконтроллеров фирмы Motorola
15*	Embedded Target for Motorola MPC555, ver 2.0	Проектирование и моделирование измерительно-управляющих комплексов на базе микроконтроллеров фирмы Motorola

Таблица 1.1 (продолжение)

№ п/п	Компонент MATLAB	Назначение
16	Embedded Target for OSEC/VDX, ver 1.1	Проектирование и моделирование измерительно-управляющих комплексов на базе микроконтроллеров OSEC/VDX
17**	Embedded Target for Texas Instruments C2000 DSP, ver 1.0	Проектирование и моделирование измерительно-управляющих комплексов на базе микроконтроллеров фирмы Texas Instruments
18*	Embedded Target for Texas Instruments C6000 DSP, ver 2.1	Проектирование и моделирование измерительно-управляющих комплексов на базе микроконтроллеров фирмы Texas Instruments
19	Excel Link, ver 2.2	Организация взаимодействия между функциями MATLAB и электронной таблицей Microsoft Excel
20	Extended Symbolic Math, ver 3.1	Расширенный пакет аналитических вычислений
21**	Filter Design HDL Coder, ver 1.0	HDL-кодирование в цифровых фильтрах
22*	Filter Design Toolbox, ver 3.0	Проектирование, имитация и анализ цифровых фильтров
23*	Financial Derivatives Toolbox, ver 3.0	Анализ и визуализация процентных ставок, финансовых производных и рисков
24	Financial Time Series Toolbox, ver 2.1	Анализ данных финансовых рынков методом временных рядов
25	Financial Toolbox, ver 2.4	Интегрированная среда для решения задач управления финансами и графического представления результатов анализа
26	Fixed-Income Toolbox, ver 1.0.1	Прогнозирование фиксированного дохода
27**	Fixed Point Toolbox, ver 1.0	Выполнение арифметических операций над нестандартными форматами чисел (целочисленные, длиной 1, 2, 4 байта; вещественные с одинарной точностью)
28	Fuzzy Logic Toolbox, ver 2.1.3	Моделирование и анализ систем на базе аппарата "нечеткой логики"
29	GARCH Toolbox, ver 2.0.1	Анализ изменчивости на финансовых рынках с использованием одномерных GARCH-моделей (General Autoregressive Conditional Heteroscedasticity)
30**	Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox, ver 1.0.1	Генетический алгоритм и прямой поиск

Таблица 1.1 (продолжение)

№ п/п	Компонент MATLAB	Назначение
31	Image Acquisition Toolbox, ver 1.5	Организация обмена графическими данными
32	Image Processing Toolbox, ver 3.2	Обработка изображений (анализ, фильтрация, двумерные преобразования, восстановление и т. п.)
33*	Instrument Control Toolbox, ver 2.9	Обмен данными и управляющими сигналами с периферийными приборами в формате протоколов IEEE-488, GPIB, VISA
34	LMI Control Toolbox, ver 1.0.9	Моделирование и анализ систем, описываемых линейными матричными неравенствами (Linear Matrix Inequality, LMI)
35	Link for Code Composer Studio, ver 1.3.1	Организация связи между MATLAB и интегрированной средой разработки (IDE) фирмы Texas Instruments (Code Composer Studio, CCS)
36**	Link for ModelSim, ver 1.1.1	Организация связи между MATLAB и средой твердотельного моделирования ModelSim
37	MATLAB Builder for COM, ver 1.1	Компилятор проектов MATLAB в COM-объекты
38	MATLAB Builder for Excel, ver 1.2	Конвертирование программ MATLAB в модули Excel
39*	MATLAB Compiler, ver 4.0	Компилятор m-файлов в коды C, C++
40*	MATLAB Report Generator, ver 2.0	Создание отчетов в различных форматах (RTF, HTML, XML, SGML), включая специфику представления данных и моделей
41	MATLAB Web Server, ver 1.2.3	Сервис Web-сервера, позволяющий пользователям Интернета выполнять на сервере MATLAB-приложения
42*	Mapping Toolbox, ver 2.0.2	Обработка и визуализация цифровых карт местности
43*	Model Predictive Control Toolbox, ver 2.0	Анализ и управление сложными системами с большим количеством входных и выходных данных
44	Model-Based Calibration Toolbox, ver 2.1	Проектирование эксперимента, статистическое моделирование и калибровка сложных систем
45	Mu-Analysis and Synthesis Toolbox, ver 3.0.8	Современные методы анализа и синтеза устойчивых линейных систем управления высокого порядка
46	Neural Network Toolbox, ver 4.0.3	Применение искусственных нейронных сетей для решения трудноформализуемых задач

Таблица 1.1 (продолжение)

№ п/п	Компонент MATLAB	Назначение
47**	OPC Toolbox, ver 1.0	Поддержка промышленных стандартов для обмена данными в системах реального времени (OLE for Process Control, OPC)
48*	Optimization Toolbox, ver 3.0	Поиск экстремумов функций многих переменных при наличии ограничений, решение нелинейных уравнений
49	Partial Differential Equation Toolbox, ver 1.0.5	Поиск и визуализация решений систем дифференциальных уравнений в частных производных
50**	RF Blockset, ver 1.0	Моделирование и исследование беспроводных систем связи
51**	RF Toolbox, ver 1.0	Моделирование и исследование беспроводных систем связи
52	Real-Time Windows Target, ver 2.5	Создание моделей с интерфейсом в стиле Simulink и управление ими в режиме реального времени
53*	Real-Time Workshop, ver 6.0	Генерация программ в расширенном C-формате по блочным диаграммам пакета Simulink
54*	Real-Time Workshop Embedded Coder, ver 4.0	Оптимизация программ, изготовленных пакетом Real-Time Workshop, по использованию памяти, по скорости работы, по простоте интерфейса, по удобочитаемости кода
55	Robust Control Toolbox, ver 2.0.10	Анализ и синтез систем управления, устойчивых по отношению к случайным воздействиям (робастное управление)
56*	Signal Processing Blockset, ver 6.0	Библиотеки Simulink, предназначенные для проектирования и моделирования систем цифровой обработки сигналов. Прежнее название — DSP Blockset (Digital Signal Processing, DSP)
57	Signal Processing Toolbox, ver 6.0	Обработка цифровых и аналоговых сигналов
58	SimMechanics, ver 2.2	Моделирование твердотельных механических систем на базе аппарата Simulink
59	SimPowerSystems, ver 3.1	Моделирование электрических силовых систем на базе аппарата Simulink
60	Simulink Accelerator, ver 6.0	Повышение производительности программ, созданных в среде Simulink
61**	Simulink Control Design, ver 1.0	Управление процессом построения моделей в среде Simulink

Таблица 1.1 (окончание)


№ п/п	Компонент MATLAB	Назначение
62*	Simulink Fixed Point, ver 1.0	Обеспечение расчетов с одинарной точностью в среде Simulink (прежнее название Fixed-Point Blockset)
63**	Simulink Parameter Estimation, ver 1.0	Подбор параметров моделей в среде Simulink
64*	Simulink Report Generator, ver 2.0	Создание отчетов с включением данных и моделей пакета Simulink
65*	Simulink Response Optimization, ver 2.0	Проектирование, имитация и анализ систем автоматического регулирования с нелинейными ограничениями (прежнее название Nonlinear Control Design Blockset)
66**	Simulink Verification and Validation, ver 1.0	Контроль за правильностью и допустимостью моделей в среде Simulink
67	Spline Toolbox, ver 3.2.1	Библиотека процедур для сплайн-аппроксимации плоских кривых и криволинейных поверхностей
68*	Stateflow, ver 6.0	Моделирование систем, управляемых событиями, на базе теории конечных автоматов
69*	Stateflow Coder, ver 6.0	Оптимизация программ, построенных на базе моделей Stateflow
70*	Statistics Toolbox, ver 5.0	Набор методов вероятностного анализа и визуализации результатов статистических исследований
71	Symbolic Math Toolbox, ver 3.1	Символьные вычисления на базе ядра пакета Maple
72*	System Identification Toolbox, ver 6.0.1	Идентификация систем (восстановление математической модели) на основе анализа входных и выходных сигналов
73*	Virtual Reality Toolbox, ver 4.0	Создание трехмерных сцен виртуальной реальности на базе языка VRML (Virtual Reality Modeling Language)
74*	Wavelet Toolbox, ver 3.0	Непрерывные и дискретные вейвлет-преобразования для анализа и синтеза сигналов и изображений различной природы
75	xPC Target, ver 2.5	Моделирование и тестирование систем реального времени в автономном режиме на целевом компьютере или в связке с сервером
76	xPC Target Embedded Option, ver 2.5	

Глава 2



Пошаговые вычисления в командном окне

2.1. Путешествие по среде MATLAB 7

По умолчанию после запуска пакета MATLAB 7 на экране появляется комбинированное окно, включающее четыре наиболее важные панели — **Command Window** (Окно команд), **Command History** (История команд), **Workspace** (Рабочее пространство) и **Current Directory** (Текущий каталог). Две последние панели закрывают друг друга, и для выдвижения нужной панели на передний план следует щелкнуть по соответствующей вкладке. Три окна, вписанные в главное окно системы (рис. 2.1), "поставлены на якоря". Они передвигаются вместе с главным окном системы, вместе с ним изменяют свои размеры, границы между окнами можно передвигать. Каждое из них можно снять с якоря (кнопки **Undock** (Отстыковать) , размещенные в правых верхних углах окон), и тогда оно может занимать автономную позицию на экране.

Вообще, самой используемой панелью является **Command Window** (Окно команд). В ней набираются команды пользователя, подлежащие немедленному исполнению. Здесь же выдаются результаты выполненных команд. В командном окне можно обратиться за помощью по поводу того или иного термина с помощью одной из команд — `doc`, `help` или `lookfor`. Присутствие двух других окон во время сеанса работы только загромождает экран, и их целесообразно закрыть (такого рода операции выполняются не только кнопками, но и командами меню **Desktop** (Рабочий стол)).

Окно **Workspace** (Рабочее пространство) отображает текущий набор переменных, введенных пользователем в командном окне. Здесь можно увидеть их имена (колонка **Name** (Имя)), значения скалярных переменных (колонка **Value** (Значение)) и тип представляемых данных (колонка **Class** (Тип данных)). Точно такую же информацию можно увидеть в командном окне после исполнения команды `whos`. Поэтому постоянное присутствие окна **Workspace** (Рабочее пространство) на экране вряд ли оправдано. В него

удобно заглядывать в тех случаях, когда вам понадобится откорректировать значения элементов какого-либо массива с помощью **Array Editor** (Редактор массивов). Это новый инструмент, появившийся в 7-й версии. Для его вызова достаточно щелкнуть по имени переменной в поле **Workspace** (Рабочее пространство).

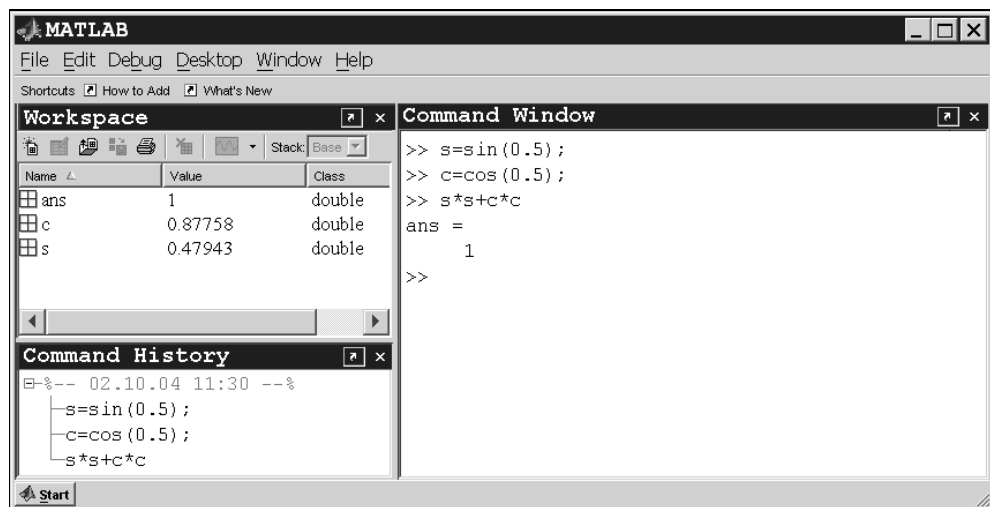


Рис. 2.1. Общий вид главного окна пакета MATLAB 7

Окно **Command History** (История команд) хранит все команды, набираемые пользователем, однако в отличие от содержимого **Command Window** (Окно команд) сюда не попадают сообщения системы и результаты вычислений. Эта информация может оказаться полезной для формирования программы, исполняемой в автоматическом режиме.

Совершим беглый экскурс по командам главного меню. Команды меню **File** (Файл) (рис. 2.2) выполняют обычные функции для большинства систем программирования. Первая группа команд обеспечивает переход в режим ввода новой программы (**New** (Создать)) или извлечение из дискового файла ранее сохраненной программы (**Open** (Открыть)). Команда **Close Command Window** (Закрыть окно команд) дублирует соответствующую кнопку в **Command Window** (Окно команд).

Команды второй группы позволяют сохранить значения всех переменных рабочего пространства в дисковом файле (**Save Workspace As** (Сохранить рабочее пространство как)) или импортировать ранее сохраненные данные (**Import Data** (Импортировать данные)).

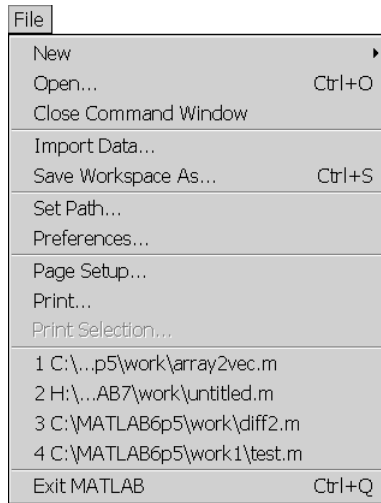


Рис. 2.2. Команды меню **File**

Команда **Set Path** (Задать путь) позволяет пополнить список каталогов, просматриваемых системой, или изменить порядок их просмотра. Настройка параметров системы выполняется в окне **Preferences** (Предпочтения).

Четвертая группа команд — традиционная для большинства систем. Она обеспечивает получение твердой копии с предварительной настройкой параметров бумаги и принтера.

Под ними расположена часть меню со списком последних файлов, с которыми работал пользователь. Размер этого списка регулируется, и его основное назначение — ускорить выборку файлов, открывавшихся в предыдущем сеансе.

Меню **Edit** (Правка) (рис. 2.3) содержит характерный для любого редактора набор команд по вырезанию (**Cut** (Вырезать)), копированию (**Copy** (Копировать)), вставке (**Paste** (Вставить)), **Paste Special** (Специальная вставка) и удалению (**Delete** (Удалить)) выделенных фрагментов текстов или графических объектов. Команда **Select All** (Выделить все) выделяет текстовый или графический объект целиком.

Команды **Undo** (Отменить) и **Redo** (Повторить) используются, соответственно, для отмены только что совершенного действия или отказа от предшествующей отмены.

С помощью команды **Find** (Найти) можно найти текстовый фрагмент и, при необходимости, произвести его замену.

Последняя группа команд позволяет произвести очистку соответствующих окон. Выполнение команд **Clear Command Window** (Очистить окно команд),

Clear Command History (Очистить окно истории команд) и **Clear Workspace** (Очистить переменные рабочего пространства) по умолчанию сопровождается запросом о подтверждении. Эти сообщения системы можно подавить, устанавливая соответствующие параметры в окне **Preferences** (Предпочтения).

Edit	
Undo	Ctrl+Z
Redo	
Cut	Ctrl+W
Copy	Alt+W
Paste	Ctrl+Y
Paste Special...	
Select All	
Delete	Ctrl+D
Find...	
Find Files...	
Clear Command Window	
Clear Command History	
Clear Workspace	

Рис. 2.3. Команды меню **Edit**

На командах меню **Debug** (Отладка) мы остановимся подробнее в *разд. 4.9*.

Из главного меню MATLAB 7 исчез привычный для пользователей предыдущих версий набор команд меню **View** (Вид). Большинство из них перекочевало в меню **Desktop** (Рабочий стол) — рис. 2.4.

Команда **Undock Command Window** (Снять с якоря окно команд) разъединит состыкованные окна и позволяет **Command Window** (Окно команд) перемещаться самостоятельно.

Команда **Desktop Layout** (Разметка рабочего стола) определяет количество и расположение одновременно видимых панелей среды. Вы можете выбрать конфигурацию среды по умолчанию (**Default**), которая была приведена на рис. 2.1, или сохранить на экране только окно команд (**Command Window Only**). Команда **History and Command Window** (Окна истории и команд) позволяет сохранить два окна — историю команд и окно команд. Команда **All Tabbed** (Со вкладками) располагает на экране все окна (рис. 2.5).

При этом одно из окон находится на переднем плане, а любое из оставшихся выходит на передний план после щелчка по соответствующей вкладке. В MATLAB 7 появилась возможность сохранить ту или иную конфигурацию окон на экране, воспользовавшись командой **Save Layout** (Сохранить разметку). Файлы, в которых запоминались те или иные конфигурации, могут

иметь произвольные имена. Для выбора нужной конфигурации, т. е. одного из ранее сохраненных файлов, необходимо прибегнуть к команде **Organize Layouts** (Организовать разметку).

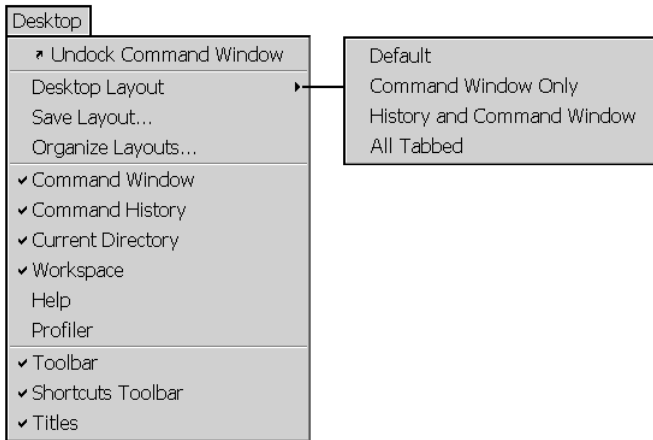


Рис. 2.4. Команды меню **Desktop**

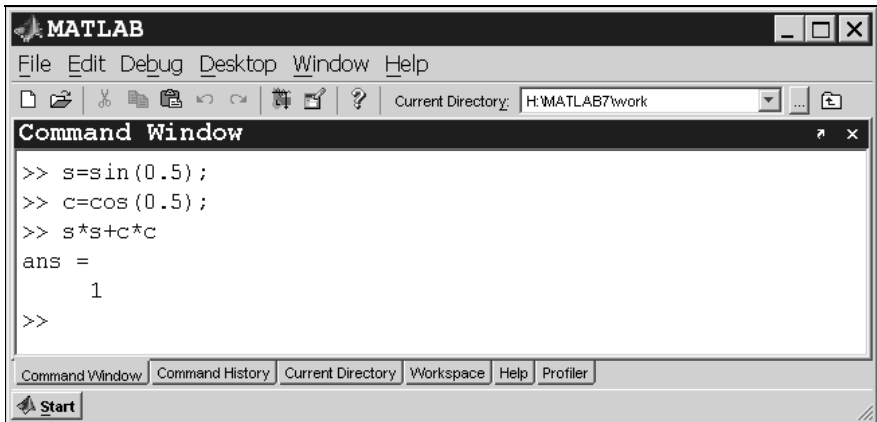


Рис. 2.5. Конфигурация всех окон с вкладками

Следующая группа команд (**Command Window** (Окно команд), **Command History** (История команд), **Current Dictionary** (Текущий каталог), **Workspace** (Рабочее пространство), **Help** (Справка), **Profiler** (Профайлер)) позволяет из меню установить комбинацию окон, которые должны присутствовать на экране. Включение или отмена галочки у соответствующей строки меню управляет появлением или исчезновением того или иного окна.

Команды последней группы управляют видимостью панели инструментов (**Toolbar**), заголовков окон (**Titles**). С помощью команды **Shortcuts Toolbar** (Пользовательская панель) можно создавать пользовательские панели инструментов.

На панель инструментов вынесены наиболее употребительные команды главного меню (рис. 2.6). Только три из них дополняют главное меню. Кнопка **Simulink** обеспечивает вызов самого популярного расширения пакета **MATLAB** — системы имитационного моделирования. Кнопка **GUIDE** вызывает конструктор интерфейса, с помощью которого в диалоговом режиме формируется интерфейс приложения. В правой части панели расположены две кнопки, обеспечивающие просмотр каталогов (**Browse for Folder**) и переход по каталогам на один уровень вверх (**Go up one level**).

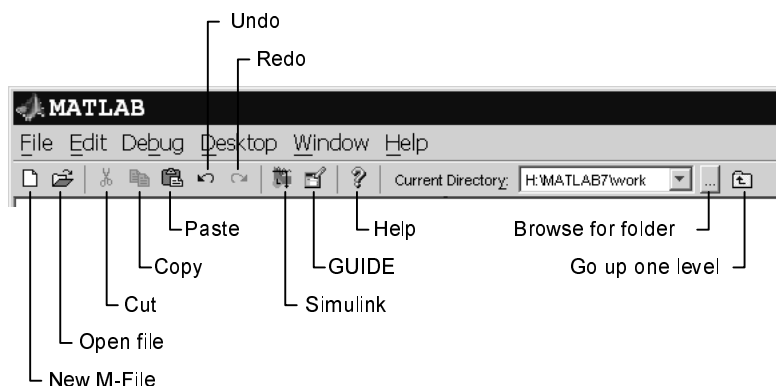


Рис. 2.6. Кнопки быстрого запуска команд меню

На панель окна **Workspace** (Рабочее пространство) тоже вынесено несколько кнопок (рис. 2.7), ускоряющих выполнение некоторых операций по сохранению и восстановлению переменных рабочего пространства, по очистке рабочего пространства и снятию окна с якоря.

Command Window (Окно команд) превращает **MATLAB** в великолепный калькулятор практически с неограниченной памятью. Для того чтобы многочисленные окна пакета не загромождали экран, можно выполнить команду **Desktop | Command Window Only** (Рабочий стол | Только окно команд).

В левом верхнем углу командного окна находятся два знака **>>**, символизирующие начало текущей строки. В этой строке можно набирать формулы или команды, удовлетворяющие синтаксису языка **MATLAB** и завершающиеся нажатием клавиши **<Enter>**. Длинные команды, не помещающиеся целиком в одной строке, можно продолжать в одной или нескольких сле-

дующих, используя условный знак переноса в виде трех подряд идущих точек (...). Вслед за знаком переноса необходимо нажимать клавишу <Enter>.

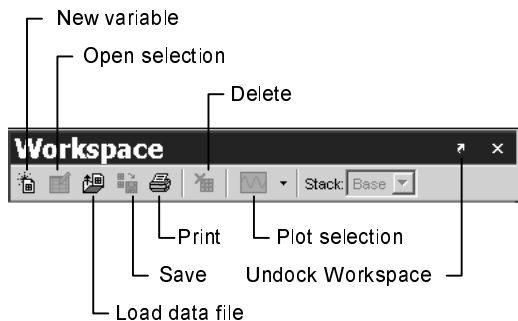


Рис. 2.7. Панель кнопок в окне **Workspace**

Если все операнды формулы известны, то MATLAB вычисляет значение выражения, помещая его в системную переменную с именем `ans` (от англ. *answer* — ответ):

```
>> 2*2
ans =
    4
```

Если в выражении указан операнд, значение которого неизвестно, MATLAB выдает сообщение об ошибке:

```
>> (x-1)*(x+1)
??? Undefined function or variable 'x'.
```

Точка с запятой, завершающая набор командной строки, подавляет автоматический режим вывода результата вычислений. Это позволяет производить многошаговые вычисления, сохраняя промежуточные результаты в соответствующих переменных:

```
>> s=sin(0.5);
>> c=cos(0.5);
>> s*s+c*c
ans =
    1
```

Если формула для вычислений, располагаемая в правой части оператора присваивания, достаточно длинная, то ее часть может быть перенесена на следующую строку. Признаком завершения строки, у которой имеется про-

должение в следующей строке, являются три подряд идущих точки. Все, что располагается в этой же строке правее знака переноса, MATLAB 7 воспринимает как комментарий:

```
>> x=sin(0.2)*cos(0.5)+ sin(0.5)*cos(0.2)...формула будет продолжена
+cos(0.2)*cos(0.5)-sin(0.2)*sin(0.5) % продолжение предыдущей строки
x =
    1.4091
```

2.2. Переменные рабочего пространства

Значения всех промежуточных переменных, использованные в многошаговых вычислениях, MATLAB запоминает в рабочем пространстве (Workspace). На выбор имен переменных накладываются примерно такие же ограничения, как и в других системах программирования:

- можно использовать латинские буквы, цифры и символ подчеркивания;
- большие и малые буквы в именах различаются;
- имя должно начинаться с буквы;
- длина имени не должна превышать 63 символов.

Информацию о переменных рабочего пространства можно получить, набрав команду `who` или `whos`. Первая из них выводит только список имен переменных, а вторая сообщает более подробную информацию об именах переменных (Name), их размерности (Size), количестве занятых байтов в оперативной памяти (Bytes) и классе объектов, представляющих соответствующий тип данных (Class):

```
>> whos
Name      Size      Bytes  Class
ans       1x1        8  double array
c         1x1        8  double array
s         1x1        8  double array
Grand total is 3 elements using 24 bytes
```

Детали этой информации будут рассмотрены немного позже. Если мы собираемся продолжить сеанс общения с MATLAB в другой раз, то имена и значения переменных рабочего пространства можно запомнить в файле, прибегнув к услугам команды главного меню **File | Save Workspace As** (Файл | Сохранить рабочее пространство как) либо набрав аналогичную команду в текущей строке:

```
>> save qq
```